

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Antonija Zimak

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić, dipl. ing.

Student:

Antonija Zimak

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof.dr.sc. Nedjeljku Štefaniću na mentorstvu.

Veliko hvala asistentu, mag. ing. mech. Miri Hegediću na pomoći, prenesenim znanjima i savjetima kojima je pridonio izradi ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se i tvornici željezničkih vozila TŽV Gredelj d.o.o. na interesu za suradnjom te ustupljenim podacima.

Antonija Zimak



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Datum 07-07-2016. Prilog
Klasa: 602-04/16-6/13
Ur.broj: 15-1703-16-255

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **ANTONIJA ZIMAK**

Mat. br.: 0035183893

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **ANALIZA UTJECAJA OKVIRA OKRETNOG POSTOLJA NA OKOLIŠ KROZ CIJELI ŽIVOTNI CIKLUS**

Naslov rada na engleskom jeziku: **ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF BOGIES**

Opis zadatka:

U svijetu, ali i u Hrvatskoj, sve više poduzeća ide u smjeru zelenog poslovanja i smanjena utjecaja vlastitih proizvoda na okoliš uzimajući u obzir njihov cijeli životni ciklus. Jedna od općenito prihvaćenih metoda analize utjecaja proizvoda na okoliš je i analiza životnog ciklusa proizvoda (*engl. Life Cycle Assessment*) ili skraćeno LCA.

LCA uzima u obzir sve segmente u kojima proizvod može utjecati na okoliš kroz njegov cjeloživotni ciklus. Kako bi se dobio konačni utjecaj na okoliš koriste se računalni programi i standardizirane baze podataka koje sadrže informacije o pojedinačnim utjecajima određenih materijala na okoliš.

U radu je potrebno:

- Analizirati dosadašnja istraživanja u području utjecaja proizvoda na okoliš s fokusom na LCA metodu.
- Analizirati i strukturirati pojmove vezane uz LCA.
- Detaljno objasniti LCA metodu.
- Analizirati dostupne računalne programe za provođenje LCA analize i detaljnije objasniti primjenu jednog od njih.
- Provesti LCA analizu na primjeru okvira okretnog postolja koristeći ranije odabrani softver.
- Utvrđiti pokazatelje utjecaja navedenog proizvoda na okoliš.

Zadatak zadan:

5. svibnja 2016.

Rok predaje rada:

7. srpnja 2016.

Predviđeni datum obrane:

13., 14. i 15. srpnja 2016.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić

Prodsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Franjo Cajner

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS KRATICA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	8
2. ANALIZA ŽIVOTNOG CIKLUSA.....	10
2.1. Faze analize životnog ciklusa	12
2.2. Ograničenja i nedostaci LCA studije.....	20
3. KLJUČNI POJMOVI VEZANI UZ LCA ANALIZU	21
3.1. Pravila kategorija proizvoda.....	21
3.2. CML-IA metoda procjene utjecaja na okoliš.....	23
3.3. Ekološka deklaracija proizvoda.....	24
4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA IZ SLIČNOG PODRUČJA.....	29
4.1. LCA analiza metroa.....	29
4.2. LCA analiza životnog ciklusa nagibnih vlakova	29
4.3. LCA analiza za razvoj ekološki prihvatljivih vlakova	30
5. RAČUNALNI PROGRAMI ZA PROVOĐENJE LCA ANALIZE	31
6. <i>SimaPro</i>	36
7. OKRETNOST POSTOLJE Y25	39
8. LCA ANALIZA OKVIRA OKRETNOSTI POSTOLJA Y25.....	41
8.1. Cilj i obujam	41
8.2. Analiza inventara	44
8.3. Utjecaj na okoliš	51

8.4. Interpretacija	60
9. ZAKLJUČAK	66
10. LITERATURA	68
11. PRILOZI	72

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Pristup „Od kolijevke do groba“	11
Slika 2.2. Faze analize životnog ciklusa.....	12
Slika 2.3. Prikupljanje podataka za LCA analizu	17
Slika 3.1. Koraci pripreme PCR dokumenta	22
Slika 3.2. Ekološka deklaracija o proizvodu	25
Slika 3.3. Postupak izrade EPD deklaracije	26
Slika 6.1. Faze LCA u <i>SimaPro</i> softveru	37
Slika 7.1. Okvir okretnog postolja Y25	39
Slika 8.1. Granice sustava.....	42
Slika 8.2. Otvaranje novog <i>SimaPro</i> projekta	43
Slika 8.3. Opis projekta	43
Slika 8.4. Odabir baza podataka	44
Slika 8.5. Udio vremena zavarivanja [%].....	47
Slika 8.6. Izrada <i>Assembly</i> -a.....	49
Slika 8.7. <i>Assembly</i> „Uzlazni procesi“	49
Slika 8.8. <i>Assembly</i> „Ulazni materijali“	50
Slika 8.9. <i>Assembly</i> „Resursi“	51
Slika 8.10. Životni ciklus okvira okretnog postolja Y25.....	52
Slika 8.11. <i>SimaPro</i> - održavanje okvira	52
Slika 8.12. Zbrinjavanje okvira	53
Slika 8.13. Odabir metode za provedbu LCA analize	54
Slika 8.14. Grafički prikaz utjecaja na globalno zatopljenje	55
Slika 8.15. Grafički prikaz utjecaja na ozonski omotač	56
Slika 8.16. Grafički prikaz potencijala acidifikacije	57
Slika 8.17. Grafički prikaz potencijala eutrofikacije	58
Slika 8.18. Grafički prikaz potencijala fotokemijskog stvaranja ozona	59
Slika 8.19. Histogramski prikaz utjecaja na okoliš (a) S stvarnim unosom materijala; b) S 10% manje unesenog materijala)	60
Slika 8.20. Histogram utjecajnih kategorija	61
Slika 8.21. Histogramski prikaz normalizacije rezultata	63

POPIS TABLICA

Tablica 5.1.	Postojeći alati za provedbu LCA analize	32
Tablica 7.1.	Tehnička svojstva okretnog postolja Y25	39
Tablica 8.1.	Popis ulaznih materijala	45
Tablica 8.2.	Popis gotovih dijelova	45
Tablica 8.3.	Popis radnih operacija	46
Tablica 8.4.	Potrošnja resursa	48
Tablica 8.5.	Transport materijala	48
Tablica 8.6.	Obvezne kategorije utjecaja prema PCR-u za EPD vlakova	54
Tablica 8.7.	Podaci za izračun vrijednosti funkcijske jedinice	64
Tablica 8.8.	Odnos količine materijala i iznosa funkcijske jedinice	64
Tablica 8.9.	Iznosi kategorija utjecaja i njihova korelacija s tonskim kilometrima	65

POPIS KRATICA

Kratika	Značenje
TŽV	Tvornica željezničkih vozila
CML	<i>Center of Environmental Science of Leiden University</i>
PCR	<i>Product Category Rules</i>
EPD	<i>Environmental Product Declarations</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ASP	<i>Active Server Page</i>
LCI	<i>Life Cycle Inventory</i>
RoW	<i>Rest Of World</i>
Alloc Def	<i>Allocation Default</i>
U	<i>Unit</i>
GWB	<i>Global Warming Potential</i>
ODP	<i>Ozone Depletion Potential</i>
CFC	<i>trichlorofluoromethane</i>
AP	<i>Acidifying Potential</i>
EP	<i>Eutrophication Potential</i>
POCP	<i>Photochemical Ozone Creation Potential</i>
Pt	<i>point</i>

SAŽETAK

Ovaj rad detaljno opisuje postupak provođenja analize životnog ciklusa proizvoda kroz sve faze njegovog životnog vijeka kao i ključne pojmove vezane uz provedbu takve analize, poput Pravila kategorija proizvoda i Ekološke deklaracije proizvoda.

Također, strukturirani su i računalni alati za provođenje analiza, a na *SimaPro* softver dan je poseban naglasak obzirom da je pomoću tog alata provedena analiza na realnom proizvodu. Analiziran je utjecaj na okoliš pomoću metode CML-IA (*baseline*) kroz 5 od 10 kategorija utjecaja koje ona nudi. Proizvod za koji je analiza provedena jest okvir okretnog postolja Y25 proizvođača TŽV Gredelj d.o.o..

Nakon provedbe analize u cijelosti, rezultati su interpretirani, utvrđeni su ključni utjecaji, te je na temelju svega navedenog donesen zaključak.

Ključne riječi: Analiza životnog ciklusa, okolišni utjecaj, okretno postolje vagona.

SUMMARY

This paper describes in detail the implementation of life cycle analysis through all important stages, as well as key terms related to the same analysis, such as *Product Category Rules* and *Environmental Product Declaration*.

Also, the computer tools for carrying out analysis are structured with special emphasis on *SimaPro* software because this software is used in the practical analysis of real product. Environmental impact is analyzed through 5 of 10 impact categories offered by CML-IA (baseline) method. Analyzed product is Bogie Y25 frame manufactured by TŽV Gredelj d.o.o..

After making this analysis, the results are interpreted, the key influences are defined, and based on all of the above in the end conclusion is enacted.

Key words: Life cycle assessment (LCA), environmental impacts, bogie.

1. UVOD

U današnje se vrijeme sve više pažnje usmjerava na brigu za okoliš s obzirom na alarmantno stanje koje je nastupilo uslijed velikog pritiska modernog doba. Porast razvoja industrije, gospodarstva, prometa i ostalih grana djelovanja ostavlja svoj otisak na okolišu. Iz ovog razloga sve je češća primjena i provedba analiza životnog ciklusa proizvoda i procesa.

Cilj ovog rada je prvo teoretski predstaviti koncept analize životnog ciklusa kroz propisane korake, a zatim na primjeru stvarnog proizvoda praktično provesti analizu u cijelosti. Slijedeći navedeni cilj u drugom su poglavlju opisani koraci analize životnog ciklusa u skladu s ISO 14040 standardom koji prikazuju i prednosti i nedostatke samog provođenja studije.

Provedba analize sama po sebi može koristiti za internu upotrebu, no korisnija je kada je deklarirana i ocijenjena od ovlaštene institucije jer se ona tada može i eksterno koristiti i time se stječe konkurentna prednost na tržištu. Tako se nakon provedene analize za određeni proizvod može kreirati Ekološka deklaracija proizvoda koja je svojevrsna potvrda dobro provedene analize. Za dobivanje takve deklaracije uz striktno određene korake provedbe analize u obzir se moraju uzeti i Pravila kategorije proizvoda. Više o pojmovima Ekološka deklaracija proizvoda i Pravila kategorije proizvoda navedeno je u poglavlju 3.

Već je rečeno da je provedba analiza sve češća stoga su u poglavlju 4 navedena neka od istraživanja u području željezničkog prometa. Ukratko su prezentirane analize metro sustava u Rimu, nagibnih vlakova u Koreji te analiza za razvoj ekološki prihvatljivih vlakova.

Jasno je da se analiza ne provodi ručno, već su za to dostupni brojni računalni alati i programi. U poglavlju 5 oni su strukturirani u tabličnom prikazu radi bolje preglednosti obzirom na njihov broj. Također, navedene su i web adrese službenih stranica svakog od alata i na njima se o svakom alatu može pronaći više informacija. Poglavljem 6 detaljnije je opisan softver koji se koristio za provedbu analize okretnog postolja, a radi se o *SimaPro* softveru.

Kako bi se dobio uvid u predmet praktičnog dijela rada poglavljem 7 je opisano okretno postolje Y25. U opseg analize ulazi samo okvir navedenog postolja o kojem su podaci dobiveni iz tvornice željezničkih vozila TŽV Gredelj d.o.o..

Ključni dio rada predstavlja poglavlje 8 u kojem je prikazan razrađeni postupak provedbe studije na navedenom okviru okretnog postolja korištenjem *SimaPro* softvera. U analizi su

morala biti učinjene neke pretpostavke zbog nedovoljne detaljnosti dobivenih informacija od strane TŽV-a Gredelj. Sve pretpostavke su navedene i objašnjene kako bi analiza bila što transparentnija. Nakon unošenja podataka u softver dobiveni su rezultati prema mid-point kategorijama utjecaja. Oni su grafički prikazani i svaki od prikaza je prokomentiran. Interpretacijom analize utvrđeni su ključni ekološki čimbenici na koje bi trebalo obratiti pažnju u budućoj proizvodnji okvira okretnog postolja.

Zadnjim poglavljem doneseni su zaključci uzimajući u obzir sve navedene stavke ovoga rada.

2. ANALIZA ŽIVOTNOG CIKLUSA

Analiza životnog ciklusa (eng. Life Cycle Assessment, LCA) je tehnički i holistički pristup definiranja, a nakon definiranja i smanjivanja opterećenja okoliša od strane proizvodnje i samih proizvoda. Metodologija se bazira na egzaktnim podacima pohranjenim u bazama podataka [1]. Procjena životnog ciklusa može biti valjano sredstvo za procjenu cijelog životnog ciklusa realizacije proizvoda, ali također može biti i neka vrsta alata za upravljanje zaštitom okoliša koja se već opsežno primjenjuje u mnogim zemljama [2]. Procjena ciklusa obuhvaća, kao što je već navedeno, cijeli životni ciklus proizvoda, procesa ili aktivnosti, a u njega spadaju eksploatacija i prerada sirovina, proizvodnja, transport i distribucija, uporaba/ponovna uporaba, recikliranje i na kraju konačno zbrinjavanje [1].

Ovi dijelovi životnog ciklusa mogu se podijeliti u tri glavne kategorije, a one su [3]:

- ☐ Uzlazni procesi (eng. Upstream Processes) koji uključuju dotok sirovina i energije potrebnih za proizvodnju proizvoda.
- ☐ Osnovni procesi (eng. Core Processes) koji uključuju proizvodne procese za glavne dijelove i komponente, montažu konačnog proizvoda, proizvodnju primarne i sekundarne ambalaže, postupanje otpadom nastalog proizvodnim procesom, vanjski transport do tvornice te transport unutar tvornice.
- ☐ Silazni procesi (eng. Downstream Processes) koji podrazumijeva prijevoz nakon završetka proizvodnje do kupca, doživotni rad proizvoda, recikliranje materijala nakon završetka života, postotak reciklirane ambalaže nakon uporabe te transport za održavanje (npr. putovanje servisnih timova).

Budući da se pojam „Analiza životnog ciklusa“ sve češće koristi kao fraza u brojnim granama industrije, od velike je važnosti razumjeti proces u njegovoj biti. Tako je analiza životnog ciklusa sustavan pristup osvrta na proizvod te njegov cjelokupni životni vijek, od sirovine do konačnog zbrinjavanja istog. LCA nudi „od kolijevke do groba“ (eng. „Cradel to Grave“) pogled [Slika 2.1] na proizvod ili proces, uzimajući u obzir ekološki aspekt te potencijalne učinke na okoliš [4].



Slika 2.1. Pristup „Od kolijevke do groba“ [5]

Osim pogleda „od kolijevke do groba“ postoje i oni pod nazivom „od kolijevke do vrata“ (eng. „Cradel to Gate“) te „od vrata do vrata“ (eng. „Gate to Gate“). Pristup „od kolijevke do vrata“ obuhvaća promatranje i opisivanje utjecaja na okoliš od faze nabave sirovih materijala pa do izlaza gotovih proizvoda iz kompanije, dok se pristupom „od vrata do vrata“ proučavaju okolišni utjecaji samo u fazi realizacije, odnosno izrade proizvoda [6].

LCA analiza proizvoda i procesa s upotrebom je započela 60ih godina 20. stoljeća u SAD-u zbog sve veće zabrinutosti za okoliš, tj. zbog uglavnom negativnih utjecaja raznih grana industrije i ostalih djelatnosti na stabilnost Zemlje i Zemljine atmosfere. Obzirom na spoznaju da su prirodni izvori sirovina ograničeni bilo je nužno pronaći način praćenja i analiziranja potrošnje kako bi se dobio uvid za očekivano stanje u budućnosti [7].

U vremenskom intervalu od 5 godina, točnije do 1975. godine utvrđen je protokol i provedbena metodologija u nekoliko faza, a ona se temeljila na nizu pretpostavki koje su kasnije validirane i evaluirane. U 80-tim godinama LCA počinje privlačiti sve više pažnje i počinje se koristiti u brojnim zemljama. Isprva se LCA koristila za analiziranje utjecaja raznih vrsta ambalaže na okoliš, no upravo je zbog te raznolikosti uspoređivanje dobivenih rezultata bilo otežano. Iz tog razloga razvijena je jedinstvena metoda provedbe analize s isto tako jedinstvenom bazom podataka. Do danas se LCA metoda „udomaćila“ i koristi za procjene utjecaja proizvoda raznih uporabnih područja na okoliš [7].

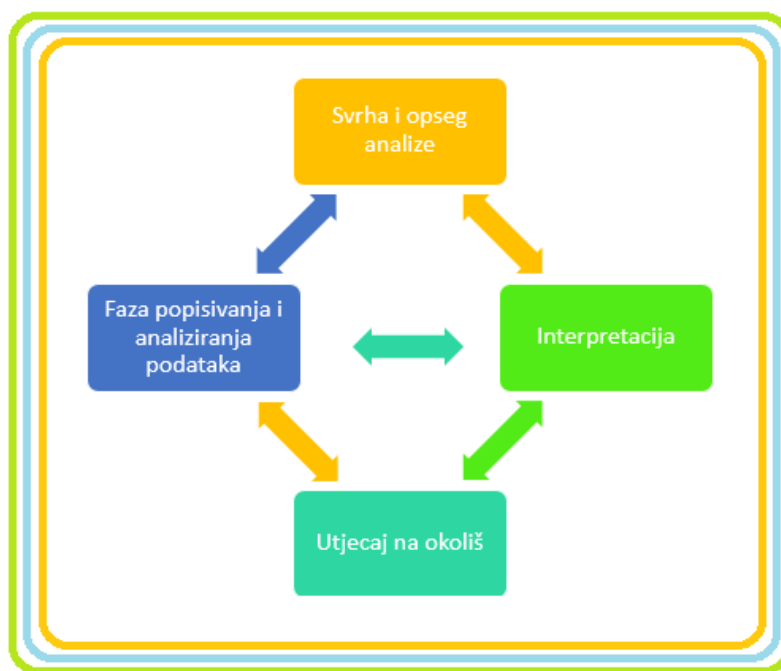
Ovakav slijed događaja doveo je (1993.) do sastavljanja službenih smjernica za ispravno provođenje analize životnog ciklusa pod nazivom "Guidelines for Life – Cycle Assessment: A Code of Practice", a kasnije (1997.) i do razvijanja LCA standarda od strane

Internacionalne organizacije za normizaciju (ISO) serije 14000. Ovim standardom je metoda analiziranja životnog ciklusa proizvoda i procesa dobila samo potvrdu da je vrlo dobar alat za ispitivanje utjecaja na okoliš [7].

Današnja koncepcija ovog moćnog alata su četiri sekvencijalne faze kroz koje je potrebno proći i provesti svaki proizvod ili svaku stavku procesa kako bi se dobilo dobro ocijenjeno stanje djelovanja na okoliš. Ova četiri faze biti će navedene u sljedećem potpoglavlju uz detaljniji opis svake od njih.

2.1. Faze analize životnog ciklusa

Radi lakšeg i boljeg razumijevanja faza, njihovog redoslijeda i povezanosti, proces analize životnog ciklusa proizvoda grafički je prikazan narednom slikom.



Slika 2.2. Faze analize životnog ciklusa [8]

2.1.1. Svrha i opseg analize [9]

Prva faza LCA studije sastoji se od definiranja cilja ili svrhe i opsega studije. Ovo je vrlo važan dio u provedbi analize jer su njime određene odluke u ostalim fazama istraživanja. Stoga se apsolutno preporuča provesti i posvetiti dovoljno vremena ovoj fazi kako bi se što preciznije i što jasnije definiralo koja je svrha studije i što bi sve njome trebalo biti obuhvaćeno. Na kraju, dobrom definicijom procesa se štedi vrijeme u drugim fazama rada.

Također treba napomenuti da se tijekom studije, ukoliko je potrebno, uvijek može vratiti u prvu fazu i redefinirati cilj i opseg na temelju novih stečenih znanja o proizvodu ili procesu. Pitanje i informacije koje nisu bile poznate na početku rada mogu zahtijevati preformulaciju cilja stoga se on u bilo kojem trenutku može mijenjati ili dopuniti. Ova mogućnost promjene i dopune odražava iterativnu prirodu LCA.

ISO 14040 standard navodi da ciljem istraživanja treba definirati:

- ☐ Namjeravanu primjenu i razlog izvođenja studije,
- ☐ Ciljanju publiku, odnosno kome se rezultati namjeravaju priopćiti,
- ☐ Da li je rezultat analize namijenjen komparativnoj svrsi iznesenoj u izjavi za javnost.

Definiranjem ovih stavki dobiva se temeljna osnova za određivanje opsega za proučavanje.

Namjeravana primjena i razlog za izvođenje studije za određeni proizvod može biti učinjena (po prvi puta) kako bi se utvrdilo u kojem se dijelu životnog ciklusa pojavljuje glavni i najvažniji utjecaj na okoliš. Pa se tako mogu postaviti pitanja poput: Koje vrste utjecaja na okoliš dominiraju za određeni proizvod? Koji se koraci u životnom ciklusu proizvoda ističu kao glavni doprinos utjecanju na okoliš? Što se može učiniti kako bi se poboljšala ukupna izvedba proizvoda i njegovog utjecaja na okoliš?

Ciljana publika, primjerice, može biti unutarnja (unutar neke kompanije) i tada se rezultati koriste samo za unutarnje svrhe kao ulaz za razvoj proizvoda, ali može biti i vanjska. U slučaju vanjske publike, rezultati analize se koriste kao vanjska komunikacija u svrhu informiranja kupaca ili potrošača i sl.

Za vanjsku ciljanu publiku poželjno je sastaviti neku vrste izjave za javnost koja tvrdi da je izvođenje, tj. nastanak proizvoda i njegov utjecaj na okoliš prilikom nastanka jednak ili bolji od konkurentskih proizvoda koji obavljaju istu funkciju. Budući da je ovo prilično kritička izjava, postoje određena specifična pravila koja se moraju primjenjivati kako bi LCA bila valjana. Ta pravila uključuju posebne zahtjeve izvješćivanja i kritičkog osvrta od strane dionika.

Opseg analize treba opisati detalje i dubinu istraživanja te pokazati da cilj može biti ispunjen sa stvarnim ograničenjima. Prilikom određivanja opsega studije u obzir treba uzeti i opisati sljedeće aspekte:

- ☐ Sustav proizvoda,
- ☐ Funkcije sustava proizvoda, funkcijske jedinice i referentni pro(tok),
- ☐ Granice sustava,
- ☐ Utjecaj na okoliš,
- ☐ Pretpostavke i ograničenja,
- ☐ Zahtjeve kvalitete podataka,
- ☐ Kritički osvrt razmatranja,
- ☐ Vrsta i oblik izvješća potrebnih za studiju.

Sustav proizvoda i njegova funkcija su određeni funkcijskim jedinicama. Veza ova tri pojma je vrlo važna u LCA i mora biti jasno definirana za kvalitetnu studiju. Funkcijska jedinica je kvantitativna mjera funkcije promatranog sustava. Ona daje reference o vezama srodnih ulaznih i izlaznih proizvoda u sustavu. Funkcijske jedinice omogućuju usporedbu dva različita sustava proizvoda.

Granice sustava određuju koje su jedinice procesa uključene u sustav proizvoda, inpute te outpute koji bi trebali biti sadržani. Izbori inputa i outputa uvjetovani su prethodno postavljenim ciljem studije.

Pouzdanost i korisnost rezultata LCA studije ovise o kvaliteti temeljnih ulaznih podataka kojima su opisani različiti dijelovi uključeni u sustav proizvoda. Iz tog razloga važno je definirati zahtjeve kvalitete podataka, odnosno razine kvalitete podataka kojima je potrebno ispuniti cilj analize.

Prema ISO 14044 pri definiranju opsega moraju biti navedeni i opisani sljedeći aspekti:

- ☐ Vremenska pokrivenost, tj. ono vremensko razdoblje koje podaci predstavljaju,

- ☐ Zemljopisna pokrivenost, tj. ono zemljopisno područje ili regiju koje podaci predstavljaju,
- ☐ Tehnološka pokrivenost, tj. koja se razina tehnologije koristi za proizvodnju materijala i proizvoda,
- ☐ Preciznost, potpunost i reprezentativnost podataka,
- ☐ Dosljednost i ponovljivost metode koja se koristi za analizu,
- ☐ Izvori podataka,
- ☐ Nesigurnosti informacija i propusta u podacima te kako ih riješiti.

S obzirom na veliku važnost koju funkcijske jedinice imaju za provođenje analize one će detaljnije biti objašnjene u sljedećem odjeljku.

2.1.1.1. Funkcijska jedinica

Funkcijska jedinica opisuje i, kao što je već rečeno, kvantificira svojstva proizvoda. Neka od tih svojstava mogu biti funkcionalnost, izgled, stabilnost, trajnost, jednostavnost održavanja i sl., a ona su pak određena uvjetima na tržištu na koje se određeni proizvod treba postaviti i prodati. Ona se u najvećoj mogućoj mjeri mora odnositi na funkcije proizvoda, a ne na fizički proizvod. Ukoliko se izvodi komparativna analiza, funkcijska jedinica mora biti ista za sve sustave koje se uspoređuju. To je preduvjet za osiguravanje ekvivalentnosti među sustavima proizvoda.

Funkcijska jedinica jest središnjica svake LCA analize budući da ona predstavlja referencu prema kojoj se normaliziraju svi ostali podaci tijekom provedbe analize. Kao referentna jedinica, veličina funkcijske jedinice, u principu, može biti proizvoljno postavljena. Prilikom definiranja veličine funkcijske jedinice kao referentne vrijednosti mogu se javiti dva problema, a to su opširnost parametara tržišta te moguće komplikacije pri usporedbi ishoda studije s drugim poznatim vrijednostima [10].

2.1.2. Faza popisivanja i analiziranja podataka [11]

Inventurom, odnosno popisivanjem tijekom životnog ciklusa dobiva se gotovi sustav proizvoda. Na taj se način doprinosi svakog uključenog dijela sustava spajaju u sustav u cjelini. Taj sustav, odnosno ti cjeloviti podaci se analiziraju i interpretiraju.

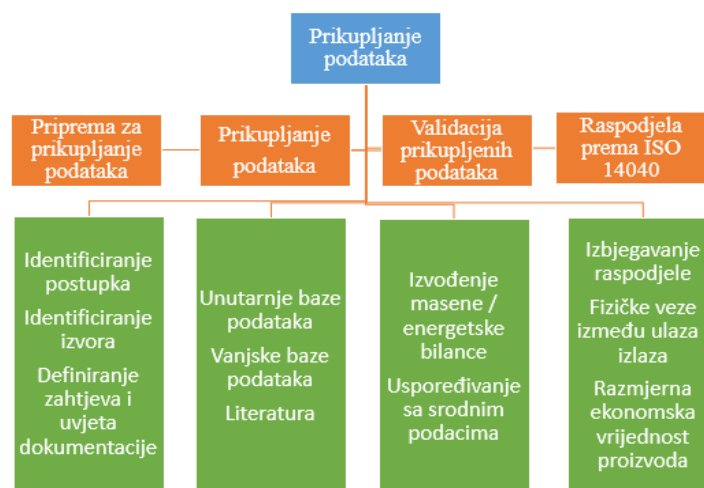
Inventura tijekom životnog ciklusa uključuje dva glavna dijela:

- ☐ Prikupljanje podataka za svaki proces uključen u sustav proizvoda, a da je on definiran u fazi određivanja cilja i opsega. To također uključuje vrednovanje prikupljenih podataka, čime se osigurava već spomenuta zahtijevana kvaliteta podataka;
- ☐ Agregacija u konačni inventar, tj. doprinos svake uključene jedinice na rezultat sustava proizvoda. Konačni inventar je rezultat prikupljanja i agregacije te opisuje sve u sustav uključene ulaze i izlaze.

Prikupljane podataka u analizi uglavnom se sastoji od sljedećih dijelova (na temelju ISO 14044):

- ☐ Priprema za prikupljanje podataka,
- ☐ Prikupljanje podataka,
- ☐ Validacija prikupljenih podataka,
- ☐ Raspodjela.

Ovi dijelovi prikazani su slikom 2.3 uz dodatak potrebnih koraka provedbe unutar svakog dijela.



Slika 2.3. Prikupljanje podataka za LCA analizu

Sa slike 2.3 se vidi kako je prvo potrebno identificirati procese za prikupljanje podataka, izvora iz kojih će se podaci uzimati te definirati zahtjeve i uvjete dokumentacije te odabir formata dokumentacije za sve podatke. Nakon ovog koraka slijedi prikupljanje podataka iz neke od unutarnjih ili vanjskih baza podataka ili iz neke druge prigodne literature. Kako bi se podaci validirali izvodi se energetska ili masena bilanca što znači da se uspoređuju ulazi i izlazi mase ili energije u procesu prema zakonima očuvanja mase i energije. To je jednostavan način da se provjeri opća dosljednost podataka te da li nešto od ulaza ili izlaza manjka. Podaci se mogu uspoređivati s onima dostupnima iz sličnih procesa, a to može koristiti za procjenu vjerodostojnosti prikupljenih podataka. Na kraju ove faze dolazi raspodjela, a nju prema ISO 14040 standardu treba izbjegavati kada god je moguće. Ukoliko njeno izbjegavanje nije izvedivo potrebno je uspostaviti fizičke veze između ulaza i izlaza, a ako ni to nije moguće postavljaju se razmjerne ekonomske vrijednosti proizvoda.

Drugi dio ove faze je sastaviti inventar s prikupljenim podacima kojima je opisan promatrani sustav u cjelini. Kompilacija rezultata inventara prema ISO 14044 uključuje:

- ☐ Povezivanje podataka s jedinicama procesa i funkcijskim jedinicama,
- ☐ Agregaciju podataka,
- ☐ Ukoliko je potrebno, redefiniranje granica sustava.

Nakon što je finaliziran rezultat popisivanja provodi se analiza osjetljivosti kojom se procjenjuje značaj rezultata te njihov odnos s ulaznim podacima. Na temelju rezultata analize

osjetljivosti može se vidjeti da li je potrebno vratiti se u prvu fazu i modificirati cilj i opseg ili poboljšati granice sustava.

2.1.3. Utjecaj na okoliš [12]

Procjena utjecaja životnog ciklusa (eng. Life cycle Impact Assessment, LCIA) ima za cilj procjenu mogućih utjecaja sustava proizvoda na okoliš. Utjecaj se procjenjuje na temelju inventarizacije i uključuje procjenu posljedica fizičkih tokova između ulaza i izlaza određenog sustava. Na primjer, koja je posljedica ekstrakcije određenog prirodnog resursa ili emitiranja određene tvari u zrak ili vodu?

ISO 14040 dijeli utjecaje slijedeći obvezne i izborne elemente. Prema obveznim elementima podjela je sljedeća:

- ☐ Izbor kategorija utjecaja, kategorija pokazatelja i karakterizacija modela, odnosno procjena u sustav uključenih vrsta utjecaja na okoliš i kako ih kvantificirati kroz kategorije pokazatelja i karakterizaciju modela;
- ☐ Klasifikacija, tj. raspored inventurnih rezultata u kategorije utjecaja, odnosno pojedinačne ulaze i izlaze klasificirati prema vrsti utjecaja na okoliš;
- ☐ Karakterizacija podrazumijeva izračunavanje kategorije indikatora rezultata, odnosno rezultat iz inventara se pretvara u rezultat za odabranu kategoriju pokazatelja.

Podjela prema izbornim elementima jest:

- ☐ Normalizacija kojom se izračunava veličina rezultata pokazatelja kategorije u odnosu na referentne vrijednosti;
- ☐ Grupiranje i razvrstavanje u određene skupine, npr. prema geografskoj važnosti, prioritetu unutar kompanije i sl.;
- ☐ Vrednovanje je pretvaranje pokazatelja za različite utjecajne kategorije u zajedničku jedinicu faktora po principu vrijednost-izbor, odnosno na temelju posljedica različitih utjecaja na okoliš koji su postavljeni kao prioriteti i ponderirani su jedni „protiv“ drugih;
- ☐ Kvaliteta analize podataka odnosno procjena kvalitete rezultata iz procjene utjecaja prepoznavanjem značajnih doprinosa te neizvjesnosti i osjetljivosti.

U praksi se LCA procjene utjecaja obično provode pomoću već ranije primjenjivanih i prihvaćenih metoda procjene utjecaja u kojima je većina izbora u procjeni implicitno, odnosno podrazumijevaju se (npr. kategorija utjecaja ili pokazatelj kategorije), dok su klasifikacija, modeli za karakterizaciju i vrednovanje posebno razvijeni.

2.1.4. Interpretacija [13]

Cilj faze interpretacije odnosno tumačenja je donijeti zaključke i preporuke u skladu s postavljenim ciljem i opsegom studije. Rezultati popisivanja i procjene utjecaja na okoliš se kombiniraju i u obliku određenog izvještaja pružaju cjelovit i objektivan prikaz studije. Interpretacija je napravljena iterativno s ostalim fazama, odnosno tumačenje je sastavni dio LCA u kojem je svaki trenutni rezultat iz različite faze različit i različito se tumači.

Tri glavna elementa za tumačenje analize životnog ciklusa prema ISO 14040 su:

- ☐ Identifikacija značajnih pitanja na temelju rezultata dobivenih u fazama popisivanja i utjecaja na okoliš;
- ☐ Vrednovanje rezultata, uključujući i potpunost, osjetljivost i dosljednost provjere. Također, u obzir se uzimaju i rezultati analize nesigurnosti i kvalitete podataka;
- ☐ Zaključci, ograničenja i preporuke.

U praksi se svaki rezultat dobiven iz različitih faza studije tumači zasebno:

- ☐ Popisivanje/Inventarizacija
 - Podaci korišteni za uključene jedinice procesa
 - Granice sustava; odluke o uključivanju i isključivanju iz procesa, posljedica i sl.
 - Rezultati popisivanja; npr. koji su dijelovi sustava proizvoda s velikim utjecajem na ukupni rezultat ili gdje se može pronaći prostor za potencijalno poboljšanje sustava proizvoda
- ☐ Procjena utjecaja
 - Klasifikacija i karakterizacija; npr. koliki pro(tok) i koji dijelovi u sustavu imaju velik doprinos rezultatu procjene utjecaja za odabrane kategorije utjecaja
 - Ponderiranje (kada je uključeno); primjerice koje kategorije utjecaja imaju veliki doprinos rezultatu ponderiranja te koji (pro)tok i procesi pridonose ovim kategorijama.

Zaključno, značajni problemi su identificirani za svaki trenutni rezultat u istraživanju. Procjene se izvode s obzirom na potpunost, osjetljivost i dosljednost za svaki rezultat zasebno, a zatim su kombinirani u ukupnom vrednovanju za cjelokupnu analizu.

Rezultati LCA analize trebaju biti razumljivi za publiku te svakako uključivati preporuke na temelju analize podataka. Također, ukoliko postoje neka ograničenja ili pretpostavke koje mogu imati veliki utjecaj na rezultat, ona moraju biti detaljno iznesena. Izvješće studije treba biti transparentno s obzirom na to kako je studija izvedena. Radi te transparentnosti izvješće mora uključivati podatke koji su korišteni kao osnova, pretpostavke koje su napravljene kao i analiza i interpretacija rezultata. Sve u svemu, izvješće treba omogućiti nezavisnu procjenu obavljenog posla u različitim fazama LCA i biti korisno onima kojima je analiza namijenjena [14].

Norma ISO 14044 daje neke opće preporuke o izvješćivanju [14]:

- ☐ Vrsta i oblik izvješća utvrđuju se u okviru studije,
- ☐ Rezultati, podaci, metode, pretpostavke i ograničenja moraju biti transparentni i dovoljno detaljno prikazani,
- ☐ Izvještavanje treba dopustiti se da rezultati i interpretacija studije koriste u skladu s ciljevima istraživanja.

2.2. Ograničenja i nedostaci LCA studije

LCA analiza neupitno ima brojne kvalitete i prednosti, no, kao i uvijek i u svemu, postoje i određena ograničenja u primjeni i provedbi ove metode. Neka od tih ograničenja su:

- ☐ Kvalitetna provedba analize životnog ciklusa može zahtijevati velika novčana ulaganja, stoga u nekim slučajevima nije pogodna za primjenu u manjim kompanijama;
- ☐ Moguća nedovoljna transparentnost rezultata, što može ometati iskoristivost postojećih studija kao izvor informacija ili za komparaciju;
- ☐ Prilikom provedbe analize se u obzir ne uzimaju socijalni i ekonomski utjecaji na životni ciklus proizvoda
- ☐ Prilikom interpretacije i općenito tijekom provedbe analize u pitanje se može dovesti razina stručnosti osoba odgovornih za donošenje odluka.

3. KLJUČNI POJMOVI VEZANI UZ LCA ANALIZU

Uz samu analizu vezani su još neki pojmovi koje je nužno razumjeti kako bi i rezultat analize bio što točniji. Tako će u ovom poglavlju biti objašnjena Pravila kategorija proizvoda koja se moraju uzeti u obzir prilikom analize, metoda kojom je analiza provedena te Ekološka deklaracija proizvoda kojoj su baza Pravila kategorija proizvoda i LCA analiza.

3.1. Pravila kategorija proizvoda

Pravila kategorija proizvoda (eng. *Product Category Rules, PCR*) definiraju pravila i uvjete za Ekološke deklaracije proizvoda (eng. *Environmental Product Declaration, EPD*) određenih kategorija proizvoda. Oni su ključni dio ISO 14025 jer omogućuju transparentnost i usporedivost tih deklaracija (pojam Ekoloških deklaracija proizvoda bit će objašnjen narednom točkom) [15].

Da bi mogli ispuniti visoka tržišna očekivanja za brojne proizvode i usluge praktične primjene, EPD-ovi moraju zadovoljiti i biti u skladu sa specifičnim i strogim metodološkim zahtjevima. Ti zahtjevi uključuju mogućnost sabiranja procjena životnih ciklusa i njihovog povezivanja s lancima opskrbe, te usporedbu različitih EPD-ova. Da bi se osigurala mogućnost usporedbe EPD-ova moraju postojati zajednički postavljena i određena pravila kako bi se njihovi postupci izrade unificirali. Za unificiranost postupaka odgovorna su upravo navedena PCR pravila i dokumenti, a njihov postupak razvoja i održavanja naveden je u nastavku [15].

Postupak razvoja i održavanja PCR dokumenata [16]:

1) Definiranje kategorije proizvoda

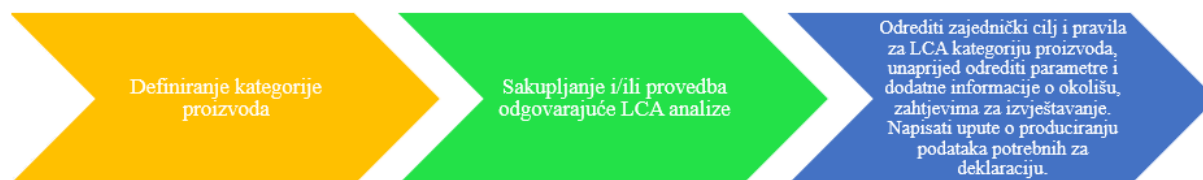
Prvi korak u razvoju PCR dokumenata je definiranje kategorije proizvoda i to koristeći transparentnu proceduru. Kada proizvodi imaju sličnu funkciju ili primjenu, temelj za dodjelu određenoj kategoriji proizvoda čini ista odabrana funkcijska jedinica.

2) Sakupiti podatke o LCA analizi proizvoda ili je sami provesti

Drugi korak čini određivanje faza životnog ciklusa koji će biti uključeni, parametre koji će biti uzeti u obzir, te način na koji su sakupljeni i prikazani podaci LCA analize.

3) Nacrt PCR

Nacrt PCR-a se razvija na temelju konzultacija svih strana uključenih u definiranje istog . Nakon izrade PCR nacрта, zajedno s ostalim potrebnim stavkama PCR dokumenta (koji su niže navedeni) dostavljaju se komisiji na pregled koja onda taj PCR dokument odobrava ili ne.



Slika 3.1. Koraci pripreme PCR dokumenta [17]

4) Objaviti PCR

Nakon pregleda i odobravanja PCR dokumenta on se može primijeniti na buduće LCA analize. Detalji PCR dokumentacije za provedbe budućih studija trebaju biti definirani od strane izvođača programa.

5) Održavanje PCR-a

Kada je jednom PCR dokument odobren ne znači da vrijedi zauvijek u obliku u kojem je odobren. Njega je potrebno ažurirati i revidirati, ukoliko je potrebno, kada dođe do promjena u procedurama i odredbama vezanih uz PCR. Održavanje PCR-a zadatak je operatora programa.

SADRŽAJ PCR:

ISO 14025 daje osnovne uvjete koje PCR dokument mora ispunjavati za deklaracije proizvoda Tipa III (proizvodi Tipa III također su objašnjeni niže u tekstu).

Prema ISO 14025 PCR dokument mora sadržavati sljedeće:

- a) Definiciju kategorije i opis proizvoda (npr. funkciju, tehničku izvedbu i korištenje/upotrebu);
 - Funkcijska jedinica,
 - Granice sustava,
 - Opis podataka,
 - Kriterije uključivanja inputa i outputa,

- Zahtjevi glede kvalitete podataka, uključujući opseg, preciznost, potpunost, reprezentativnost, konzistenciju, obnovljivost, izvore i nesigurnosti, te
- Jedinice;
- b) Analizu zaliha u što spada
 - Prikupljanje podataka,
 - Proračunski postupci i
 - Raspodjela tokova materijala i energije;
- c) Pravila izbora kategorija utjecaja i proračuna, ako postoje;
- d) Unaprijed određene parametre za sastavljanje izvještaja o LCA podacima (kategorije zaliha podataka i kategorije pokazatelja utjecaja);
- e) Zahtjeve za pružanje dodatnih informacija o zaštiti okoliša, uključujući bilo koje metodološke zahtjeve (npr. specifikacije o procjenama opasnosti i rizika;
- f) Prijavljene materijale i tvari (npr. informacije o sadržaju proizvoda, posebno o onima koji mogu nepovoljno utjecati na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u bilo kojoj fazi životnog ciklusa);
- g) Upute i potrebne podatke kako bi se mogla sastaviti deklaracija;
- h) Upute o sadržaju i obliku deklaracije Tipa III;
- i) Informacije o fazama koje nisu uzete u obzir, ako deklaracija nije bazirana na LCA analizi koja pokriva sve faze životnog ciklusa;
- j) Razdoblje valjanosti.

3.2. CML-IA metoda procjene utjecaja na okoliš [18]

CML-IA metoda dobila je ime po grupi znanstvenika s CML centra (Center of Environmental Science of Leiden University) koji su je razvili 2001. godine. Metodu su realizirali kroz set kategorija utjecaja i karakterizacijskih postupaka kroz sve korake procjene utjecaja. Proces procjene utjecaja kroz CML-IA metodologiju definiran je kao tzv. „mid-point“ pristup u kojem je osigurana normalizacija podataka, no ne postoji mogućnost dodavanja i promjene težinskih faktora.

U *SimaPro* softveru postoje dvije izvedbe ove metode. Prva je „CML-IA (baseline)“ tj. osnovna verzija CML-IA metode koja uključuje 10 kategorija utjecaja, a druga izvedba je proširena verzija sa „svim utjecajnim kategorijama“ kao i mogućnošću varijacija u već postojećim utjecajnim kategorijama. Prema CLM priručniku (Guinée et al. 2002) popis kategorija utjecaja podijeljen je u tri grupe:

- A. Obvezne kategorije utjecaja (one korištene u velikoj većini LCA analiza);
- B. Dodatne kategorije utjecaja (kod kojih postoje utjecaji prilikom izvođenja operacija, no oni često nisu uključeni u LCA studiju);
- C. Ostale kategorije utjecaja (kod kojih postoje utjecaji prilikom izvođenja operacija, no kvantitativni podaci o njima nisu poznati pa stoga niti ne mogu biti uzeti u opseg analize).

CML-IA (baseline) je najbolja opcija za provedbu analize kada se radi o ispitivanju obveznih kategorija utjecaja. Kao što je navedeno, ova metoda sadrži 10 različitih „mid-point“ kategorija koje su preporučene za pojednostavljene studije. U tih 10 kategorija spadaju:

1. Crpljenje abiotičkih resursa
2. Klimatske promjene
3. Uništavanje ozonskog omotača
4. Utjecaj toksičnosti na ljude
5. Utjecaj toksina na slatku/pitku vodu
6. Utjecaj toksina na slanu vodu (mora i oceane)
7. Utjecaj toksina na tlo
8. Formiranje foto-oksidansa (reaktivne supstance štetne za ljudsko zdravlje, uglavnom ozon)
9. Acidifikacija
10. Eutrofikacija

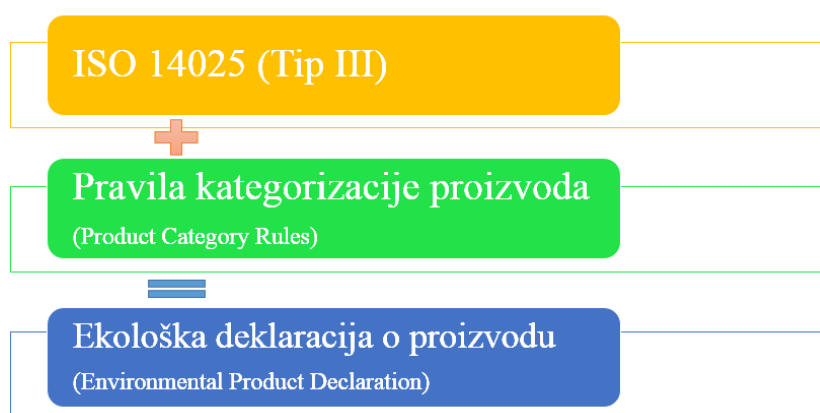
Neki od ovih utjecaja bit će prikazani u daljnjem dijelu rada gdje će se pokazati rezultati provedene analize okvira okretnog postolja Y25.

3.3. Ekološka deklaracija proizvoda

Ekološka deklaracija proizvoda (eng. *Environmental Product Declarations, EPD*) je međunarodna oznaka temeljena na međunarodnom ISO 14025 standardu. Dobivanje EPD deklaracije u zadnje vrijeme vrlo često predstavlja glavnu svrhu provedbe LCA analize proizvoda [19]. Danas postoje tri različita tipa ekoloških oznaka i deklaracija. Ekološka deklaracija proizvoda spada u Tip III. Tip III okolišne deklaracije također je definiran standardom ISO 14025 i objavljen 1999. godine. Od ostala dva tipa deklaracija ova skupina se razlikuje po tome što se njome uzimaju u obzir svi okolišni podaci podijeljeni u kategorije kroz cijeli životni vijek proizvoda i njegovog utjecaja na okoliš. Važno je naglasiti da se za

pojedini proizvod utjecaji na okoliš moraju mjeriti od jedne stručne osobe i ta je mjerenja nužno potvrditi, no od strane neke druge kvalificirane nepristrane osobe. Obzirom da zahtjeva uzimanje u obzir podataka i utjecaja tijekom cijelog životnog ciklusa proizvoda, postupak je vrlo složen i dugotrajan stoga je ovaj tip deklaracije namijenjen primjeni u industriji, a ne preporuča se potrošačima [20].

Kao što je rečeno, ISO 14025 pruža smjernice za izradu EPD-ova, no one nisu dovoljno specificirane. Tu se, stoga stvara poveznica između EPD-a i PCR-a jer pravila kategoriziranja proizvoda popunjavanju taj nedostatak pri definiranju. Bez tih dodatnih pravila ne bi bilo moguće realizirati EPD [Slika 3.2] [19].

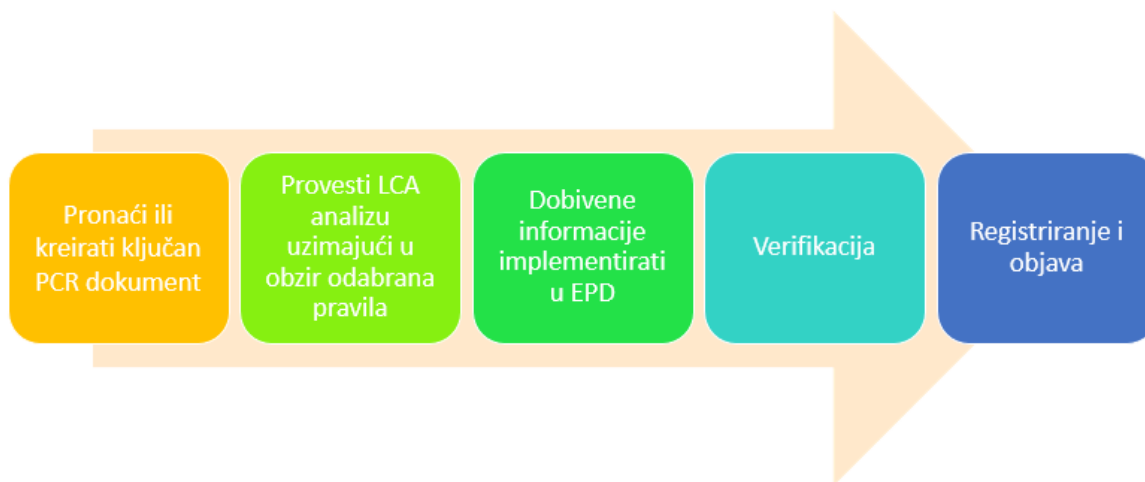


Slika 3.2. Ekološka deklaracija o proizvodu

Deklaracija se općenito sastoji od niza rezultata koji prikazuju pokazatelje utjecajnih kategorija na okoliš i služi za usporedbu proizvoda iste kategorije procijenjenih upravo preko ranije opisanih pravila za kategorizaciju.

Postupak izrade EPD deklaracije [21]:

Prema međunarodnom EPD sustavu kreiranje Ekološke deklaracije proizvoda sastoji se od koraka prikazanih na slici 3.3. U nastavku će svaki od tih koraka biti pobliže objašnjen.



Slika 3.3. Postupak izrade EPD deklaracije [21]

1) Pronaći ili izraditi ključan PCR dokument

- Pronalaženje PCR dokumenta

Dokumenti s Pravilima kategorizacije proizvoda (PCR) već postoje za mnoge grupe proizvoda, te se konstantno razvijaju i obnavljaju. U PCR bazi podataka Međunarodnog EPD® sustava, na raspolaganju su gotovi PCR dokumenti te oni u pripremi.

PCR dokumenti su također dostupni na drugim programskim operaterima. Prema standardu, ISO 14025, navedeno je da programski operatori mogu olakšati usklađivanje pri izradi PCR za kategoriju proizvoda uzimajući u obzir dostupne PCR dokumente u istoj kategoriji proizvoda i na odgovarajućem tržištu području.

- Ako bilo koji PCR ne postoji (ili je istekao)

Ako PCR ne postoji za željenu kategoriju proizvoda, on se mora izraditi, te mora biti provjeren i odobren. PCR dokumenti se pripremaju i izrađuju u otvorenom, transparentnom i participativnom procesu u kojem sudjeluje više tvrtki i strukovnih organizacija kako bi se osiguralo pružanje i unos odgovarajućih i stručnih znanja o određenom proizvodu.

Ako je period valjanosti za PCR istekao, dokument se može reaktivirati i ažurirati čime on ponovno postaje valjan na određeni vremenski period.

2) Provesti LCA analizu uzimajući u obzir odabrana pravila

LCA analizu potrebno je provesti u skladu sa standardima ISO 14040 i 14044, te po koracima opisanim u poglavlju jedan, uz dodatne uvjete koji su postavljeni odabirom željenog PCR dokumenta. Također, nužno je slijediti opću svrhu EPD-a, definiran način prikupljanja podataka, definirane metode i navedene pretpostavke.

Međunarodni EPD® sustav nudi mogućnost tvrtkama da slične proizvode na temelju sličnih LCA analiza mogu biti prikazani istom EPD deklaracijom. Za to moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

- Slični proizvodi s razlikama između obveznih pokazatelja utjecaja nižim od $\pm 10\%$ može se prikazati istim EPD dokumentom;
- Slični proizvodi s razlikama između obveznih pokazatelja utjecaja većim od $\pm 10\%$ može se prikazati istim EPD-om, ali uz korištenjem zasebnih stupaca ili tablica u kojima su prikazane razlike;
- „Slični proizvodi“ znače da je njihova analiza provedena na temelju istih PCR pravila i da je izvedena od iste tvrtke s istim osnovnim procesom.

3) Dobivene informacije interpretirati u EPD

Izlazni format EPD deklaracije je PDF dokument koji sadrži tražene informacije propisane u “Općim uputama programa” (eng. *General Programme Instructions*) i odgovarajućim PCR-om, pa tako mora sadržavati stavke:

- Naslovnici;
- Informacije o provedenom postupku;
- Informacije o proizvodu;
- Informacije o utjecajima na okoliš
- Dodatne informacije
- Izvještaje
- Sažetak na engleskom jeziku (u slušaju da je EPD objavljen na drugom jeziku)

4) Verifikacija

Stvoreni EPD dokument mora biti verificiran i certificiran od strane Međunarodnog EPD® sustava. Svi tipovi informacija moraju biti zasebno verificirani što znači da procjenjivač dokumenta ne smije biti niti jednim dijelom uključen u provedbu LCA analize, tj. znači da procjenjivač mora biti u potpunosti nepristran.

5) Registriranje i objava

Nakon verificiranja, EPD deklaracija prolazi proces registracije i nakon njega se pohranjuje u EPD bazu podataka kojoj se može pristupiti na web stranici www.environdec.com. Nakon registracije, podnositelj zahtjeva dobiva o tome službenu potvrdu i EPD se odmah nakon toga objavljuje.

4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA IZ SLIČNOG PODRUČJA

LCA analize u svijetu koriste se već neko vrijeme, dok je u Hrvatskoj njihova provedba još uvijek slabo zastupljena. U ovom poglavlju navedena su tri različite studije iz sličnog područja interesa kao što je i glavna analiza ovoga rada.

4.1. LCA analiza metroa [22]

U članku se predstavlja životni ciklus LCA metroa koji se nalazi u gradskom području Rima. LCA životni ciklus vozila podijeljen je u tri modula *Upstream*, *Core* i *Downstream*. U usporedbi sa starijih istraživanjima u ovom radu su se pojavili noviteti. Prvi je procjena šireg skupa utjecaja na okoliš kao što su prirodna potrošnja resursa, proizvodnje i otpada i potencijalni utjecaj na okoliš, na ljudsko zdravlje i ekosustav. Drugi je da podatke za istraživanje isporučuje proizvođač vozila radi visoke pouzdanosti informacija.

U ovom projektu prikazuje se moderna željeznička infrastruktura uključujući i promet na tim infrastrukturama. LCA metoda uključivala je i nekoliko stvorenih modula vezanih uz željeznički prugu i željeznički promet. Ti moduli su: modul pripreme za željezničke pruge, modul željezničke pruge, napajanje električnom energijom i kontrola tog sustava, struktura mostova i infrastruktura tunela, željezničke stanice i teretni terminali, te putnički i teretni vlakovi. Važno je bilo stvoriti fleksibilan model kojim su bili uključeni različiti moduli željezničke infrastrukture.

Rezultati su pokazali da *Downstream* modul, to jest korištenje i održavanje imaju najveći utjecaj na okoliš od svih kategorija uzetih u obzir. Rezultati *Upstream* modula imaju drugi po redu utjecaj na temelju potrošnje resursa i emisija uzrokovanih ekstrakcijom sirovih materijala, dok *Core* modul predstavlja zanemariv utjecaj na proces. Analiza osjetljivosti na LCA rezultatima, na temelju varijacije popunjenosti vozila dokazuje izuzetan utjecaj korištenja fazi potrošnji električne energije.

4.2. LCA analiza životnog ciklusa nagibnih vlakova [23]

U radu su prikazani troškovi LCA analize životnog ciklusa brzih nagibnih vlakova u Koreji. Pri izradi projekt koristile su se europske i korejske bazama podataka, s ciljem procjene okoliša i troškova izvedbe u procesu. Točnije, istraživao se potencijal polimernih kompozitnih struktura korejskog nagibnog vlaka. Ova studija uključivala je procjenu troškova

za proizvodnju i korištenje vlaka, zajedno sa ostalim fazama životnog ciklusa s utjecajima na okoliš, od proizvodnje sirovog materijala pa do proizvodnje vagona i korištenje, te vagona do njegovog kraja životnog vijeka. U analizi je provedena usporedba vagoni obzirom na njihove dvije kompozitne opcije, a one su spoj čelika i kompozitnog materijala i samo kompozitni materijal. Rezultati pokazuju da sirovine i proizvodna faza čine otprilike polovinu ukupnih troškova životnog ciklusa, dok je njihov utjecaj na okoliš relativno beznačajan (3-8%). Faza korištenja vagona ima najveći utjecaj na okoliš. Čelično željeznički vagoni teži više, te troši više električne energije za napajanje, što je rezultiralo najvećim utjecajem na okoliš i najvišu cijenu životnog ciklusa. U odnosu na čelični vagon, hibridna varijanta ima niže troškove životnog ciklusa (16%) i manjeg utjecaja na okoliš (26%). Iako kompozitni vagon ima najvišu cijenu proizvodnje, ipak ima najniže ukupne troškove životnog ciklusa i najmanji utjecaj na okoliš. Zajednički troškovi i životni ciklus pokazali su da je kompozitna varijanta optimalno rješenje.

Ova studija pokazala je da spajanje tehničkih troškova modela s procjenom životnog ciklusa nudi učinkovit put za točnu procjenu ekonomske i ekološke učinkovitosti na dosljedan način.

4.3. LCA analiza za razvoj ekološki prihvatljivih vlakova [24]

Tvrtka Adtranz Švedska bila je izvođač ove analize, a koristila ju je kao jedan od nekoliko alata u svom radu koji za cilj ima razvoj nekoliko okolišno prihvatljivih proizvoda između kojih su i vlakovi. Tema ovog rada su načela LCA, a predstavlja rezultate proučavanja koncepta brzih vlakova. LCA metodologija ima četiri koraka: 1. Cilj i definiciju opsega, 2. Analiza inventara, 3. Procjena utjecaja uz primjenu tipičnih metoda koje se koriste u Švedskoj i 4. Tumačenje i procjenu poboljšanja. Cilj je bio pronaći što više faza u životnom ciklusu vlaka i koji sustav ima najveći utjecaj na okoliš. Otkriveno je da se značajno poboljšanje okoliša može dobiti izborom ispravnog izbora materijala za izradu baterija. Najviši prioritet je pronaći alternativne tehnologije umjesto baterija, kako bi se izbjeglo daljnje korištenje nikal-kadmij baterija u sustavu. Također, zaključeno je da treba tražiti izradi vlaka što manje težine i energetske učinkovitog dizajna. Zaključili su da je bilo moguće ostvariti još jedno poboljšanje i to u vidu korištenja materijala koji se mogu reciklirati.

5. RAČUNALNI PROGRAMI ZA PROVOĐENJE LCA ANALIZE

Postoje razni alati za provođenje LCA ili onih koji podržavaju samo neke od faza ili aplikacija LCA analize. Za pojedine grane industrije razvijeni su različiti alati. Kao i u slučaju baza podataka, postoje besplatno dostupni alati, kao i oni komercijalni. Za većinu komercijalnih alata postoje besplatne probne verzije alata čije je korištenje vremenski ograničeno. Većina alata uključuje baze podataka, no postoji velika razlika u obujmu podataka koje one sadrže.

Tablicom 5.1 u nastavku prikazan je popis postojećih alata za provedbu LCA analize.

Tablica 5.1. Postojeći alati za provedbu LCA analize [5]

Naziv alata	Dobavljač	Podržava LCI i/ili LCIA	Potpuno podržava LCA	Jezik	Glavna baza podataka	Specijalizirano područje (ukoliko postoji)	Besplatno?	Ako je komercijalna, postoji li probna verzija?	Web stranica
AIST-LCA Ver.4	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)		Da	Japanski	AIST-LCA database		Ne	Nema besplatne probne verzije	http://www.aist-riss.jp/main/modules/product/software/nire.html?ml_lang=en
BEES 4.0	National Institute of Standards and Technology (NIST)		Da	Engleski	Bees database	Građevinska industrija	Da		http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm
CCaLC Tool	The University of Manchester		Da	Engleski	CCaLC database uključujući EcoInvent database		Da		http://www.ccalc.org.uk/index.php
Eco-Bat 2.1	Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud	Da		Francuski, Talijanski, Engleski	Eco-Bat database	Građevinska industrija	Ne		http://www.eco-bat.ch/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=1&lang=en
Ecoinvent waste disposal inventory tools v1.0	Doka Life Cycle Assessments (Doka Okobilanzen)	Da		Engleski	Ecoinvent database	Upravljanje otpadom	Ne	Da	http://www.ecoinvent.ch/
EIME V3.0	CODDE		Da	Engleski	EIME database	Električni, mehanički i elektronički proizvodi	Ne	Da	http://www.codde.fr/page.php?rubrique=20
Environmental Impact Estimator V3.0.2	Athena Sustainable Materials Institute		Da	Engleski	Vlastita baza podataka	Građevinska industrija	Ne	Da	http://www.athenasmi.org/
eVerDEE v.2.0	ENEA - Italian National Agency for New Technology, Energy and the Environment		Da	Talijanski, Engleski	ENEA database		Da		http://www.ecosmes.net/cm/index-EP
GaBi 4	PE International GmbH University of		Da	Engleski	Gabi database		Ne	Da	http://www.gabi-software.com/

Naziv alata	Dobavljač	Podržava LCI i/ili LCIA	Potpuno podržava LCA	Jezik	Glavna baza podataka	Specijalizira no područje (ukoliko postoji)	Besplatno?	Ako je komercijalna, postoji li probna verzija?	Web stranica
	Stuttgart, LBP-GaBi								index.php?id=85&L=0&redirect=1
GEMIS version 4.4	Oeko-Institut (Institute for applied Ecology), Darmstadt Office	Da		Španjolski, Češki, Njemački, Engleski		Energija i transport, recikliranje i tretiranje otpada	Ne		http://www.gemis.de/
KCL-ECO 4.1	VTT		Da	Engleski			Ne		http://www.vtt.fi/research/technology/sustainability_assessment.jsp?lang=en
LEGEP 1.2	LEGEP Software GmbH		Da	Engleski, Njemački	LEGEP database	Građevinska industrija	Ne	Da	http://www.legep.de/index.php?AktivId=1125
LTE OGIP; Version 5.0; Build-Number 2092; 2005/12/12	t.h.e. Software GmbH		Da	Njemački		Građevinska industrija	Ne		http://www.the-software.de/ogip/einfuehrung.html
OpenLCA	GreenDeltaTC GmbH		Da	Engleski			Da		http://www.openlca.org/
Qantis suite 2.0	Qantis		Da	Engleski	Qantis database		Ne	Da	http://www.quantis-intl.com/software.php?step=fonct
REGIS 2.3	sinum AG		Da	Japanski, Španjolski, Njemački, Engleski	ecoinvent Data v1.3:		Ne	Da	http://www.sinum.com/en/products/software/
SALCA-tools	Agroscope ReckenholzTänikon Research Station ART	Da		Njemački		Agrikultura		Pristup omogućen samo programerima i partnerima projekta	http://www.agroscope.admin.ch/aktuell/index.html?lang=en
SankeyEditor 3.0	STENUM GmbH	Da		Engleski			Ne	Da	http://www.stenum.at/en/?id=software/sankey/sankey-intro

Naziv alata	Dobavljač	Podržava LCI i/ili LCIA	Potpuno podržava LCA	Jezik	Glavna baza podataka	Specijalizira no područje (ukoliko postoji)	Besplatno?	Ako je komercijalna, postoji li probna verzija?	Web stranica
SimaPro 7	PRé Consultants B.V.		Da	Španjolski, Francuski, Talijanski, Njemački, Engleski	SimaPro database		Ne	Da	http://www.pre.nl/
TEAM™ 4.5	Ecobilan - PricewaterhouseCoopers		Da	Engleski			(Da)	Samo neke probne verzije su dostupne	https://www.ecobilan.com/ uk_team.php
The Boustead Model 5.0.12	Boustead Consulting Limited		Da	Engleski	Boustead Model database		Ne	Da	http://www.boustead-consulting.co.uk/
Umberto 5.5	ifu Hamburg GmbH		Da	Engleski	Umberto library		Ne	Da	http://www.umberto.de/en/product/index.htm
USES-LCA	Radboud University Nijmegen	Da		Engleski		Toksični učinci između tvari	Da		http://www.ru.nl/environmentalscience/research/life_cycle/multimedia_toxic/
WRATE	UK Environment Agency		Da	Engleski		Opći sustavi upravljanja otpadom	Ne	Da	http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/tool2.vm?tid=197

Kao što se iz prethodne tablice vidi, alata za provedbu LCA analize ima mnogo, no odabir željenog alata vrši se na temelju specifičnog područja djelovanja za koje se želi provesti analiza ciklusa. Više o svakom od ovih alata može se pogledati na pripadajućim web stranicama svakoga od njih, a one su navedene u zadnjem stupcu Tablice 5.1.

6. *SimaPro*

SimaPro je jedan od profesionalnih i, u svakom slučaju, najupotrebljavanijih alata za provedbu analize životnog ciklusa. Koristi se u raznim granama djelovanja, od industrije preko konzultantskih kompanija, pa sve do istraživačkih instituta u više od 80 zemalja. *SimaPro* softver je apsolutno stručan alat za prikupljanje, analizu i praćenje utjecaja nekog proizvoda na okoliš od njegove proizvodnje do kraja životnog vijeka [25].

Značajke *SimaPro* LCA softvera razlikuju se od verzije do verzije, no neke od onih glavnih su [25]:

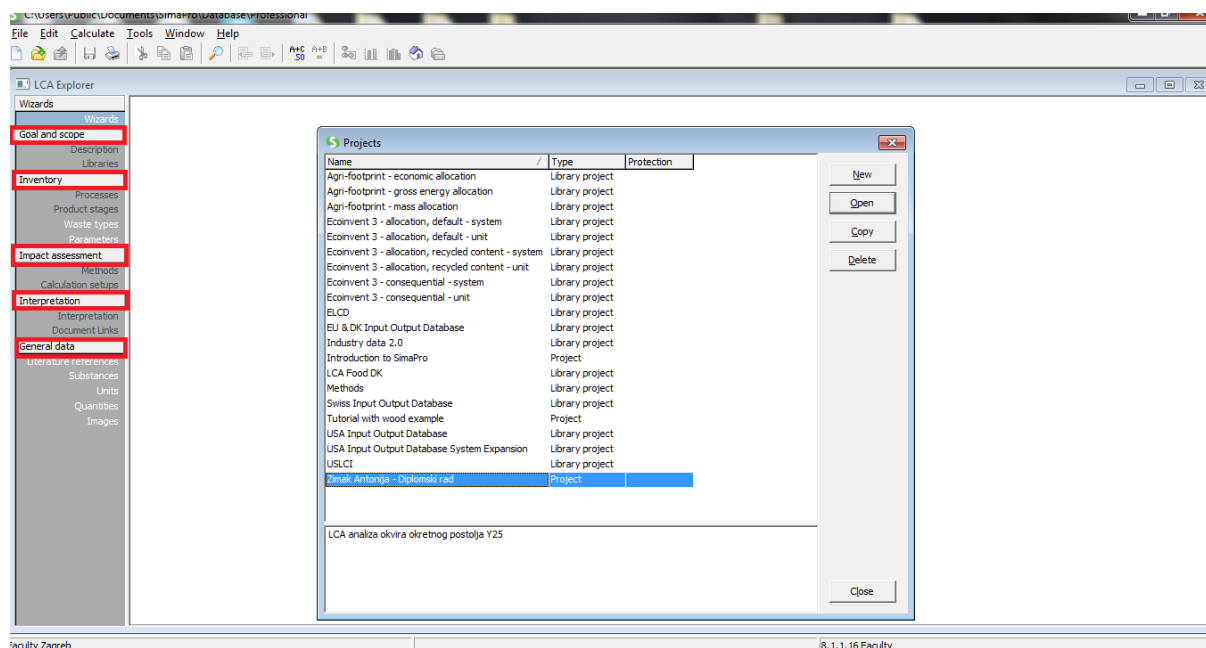
- ☐ Intuitivno korisničko sučelje koje slijedi ISO 14040 standard;
- ☐ Jednostavno modeliranje;
- ☐ Parametrizirano modeliranje s analizom scenarija;
- ☐ Hibridni LCA koji sadrži ulazne i izlazne baze podataka;
- ☐ Moguće direktno povezivanje s Excel i ASP bazama podataka;
- ☐ Tijekom svake faze provedbe LCA analize omogućen izravni izračun procjene pojedinih utjecaja na okoliš;
- ☐ Moguća Monte Carlo analiza;
- ☐ Preglednost rezultata (u jednom prozoru);
- ☐ Podjela rezultata po grupama;
- ☐ Interaktivno praćenje rezultata u realnom vremenu i to od samog početka;
- ☐ Upotreba procesnog drveta za detektiranje kritičnih točaka.

Transparentnost podataka svakako je jedna od najvažnijih odlika ovog softvera i uz procjenu životnog ciklusa pomoću *SimaPro* može se pristupiti inventaru podataka u bilo kojoj od faza analize. Transparentnost podataka se kao prednost značajno očituje kod složenih proizvoda ili procesa jer se za svaki dio nekog proizvoda ili procesa rezultati u bilo kojoj fazi, i od podrijetla, mogu pronaći već uz samo nekoliko klikova mišem. Sve baze podataka su usklađene u vidu strukture i nomenklature te se dobro uklapaju s metodama procjene utjecaja životnog ciklusa.

SimaPro uključuje sljedeće baze podataka:

- ☐ Ecoinvent v3 LCI database;
- ☐ Agri-footprint;
- ☐ European Life Cycle Data;
- ☐ US Input Output library (PDF);
- ☐ EU and Danish Input Output library (PDF);
- ☐ Swiss Input Output;
- ☐ LCA Food;
- ☐ Industry data v2.

LCA analize pomoću *SimaPro* softvera se provode kroz četiri koraka navedena pod točkom 2.1. (traženje cilja i opsega, popisivanje podataka, procjena utjecaja, interpretacija) što se može vidjeti i na sljedećoj slici.



Slika 6.1. Faze LCA u *SimaPro* softveru

U prvoj fazi, za definiranje cilja i opsega analize potrebno je unijeti ulazne podatke. To se može učiniti na dva načina. Jedan od njih je upisivanje različitih aspekata potrebnih za opis cilja u tekstualno polje u obliku eseja. Tako uneseni podaci lako se poslije mogu kopirati

i zalijepiti u izvješće. Drugi način je takozvana sekcija „knjižnica“ u kojoj se mogu unaprijed definirati baze podataka s informacijama prikladnima za željeni proces. Ove dvije sekcije služe kao vodič u provedbi dosljedne procjene životnog ciklusa u skladu sa ISO smjernicama. U ovoj fazi se definiraju još i granice sustava te funkcionalna jedinica sustava [19].

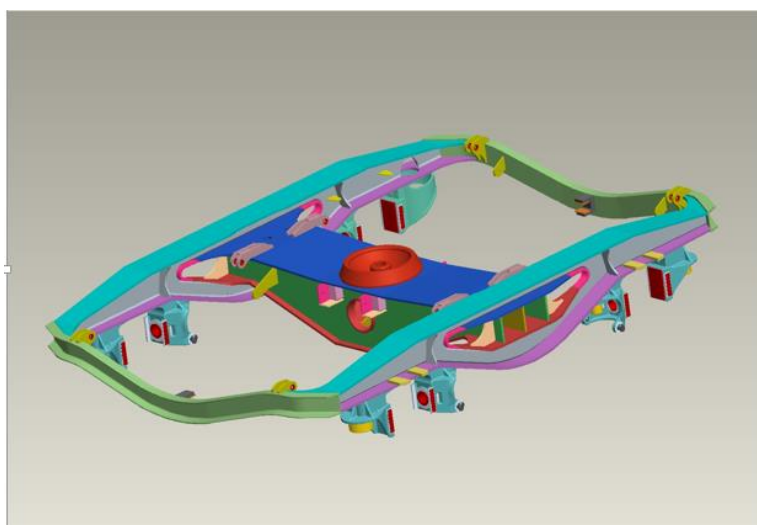
U fazi popisivanja *SimaPro* nudi dva tipa podataka, one u prvom planu koji su neophodni za modeliranje sustava te tzv. pozadinske podatke koji daju informacije o potrošnji energije, transportu ili pak zbrinjavanju i upravljanju otpadom. Ovu vrstu podataka može se pronaći u *SimaPro* bazi podataka ili iz prikladne literature [19].

Nakon definiranja navedenih podataka slijedi klasifikacija i karakterizacija te izračun pojedinih kategorija utjecaja nekom od odabranih metoda. Nakon svega ovoga, slijedi interpretacija podataka i provođenje analize nesigurnosti podataka LCA analize. Nesigurnost podataka mogu biti varijacije u podacima, ispravnost (reprezentativnost) modela ili nepotpunost modela [19]. Krajnji rezultati prikazani su, kao što je navedeno, u jednom jednostavnom prozoru i to najčešće u grafičkom obliku.

7. OKRETNO POSTOLJE Y25

Općenito, okretno postolje je element vagona koji omogućuje lakši prolazak željezničkih vozila kroz zavoj smanjujući trenje i trošenje između kotača i tračnice. Na okretno postolje vezani su osovinski sklopovi i vučni motor vozila [26].

Okretno postolje Y25 proizvod je tvornice željeznih vozila – TŽV Gredelj d.o.o. i ono je predmet provedene LCA analize koja čini glavni dio ovoga rada. Točnije, provedena LCA analiza u obzir uzima samo okvir okretnog postolja Y25 te materijale, resurse i proizvodne procese povezane s izradom okvira postolja [Slika 7.1].



Slika 7.1. Okvir okretnog postolja Y25

Slika 7.1 prikazuje izgled okvira okretnog postolja Y25 nakon izvedenih svih potrebnih proizvodnih operacija te konačnog zavarivanja.

Sljedećom tablicom prikazana su tehnička svojstva kompletnog okretnog postolja Y25.

Tablica 7.1. Tehnička svojstva okretnog postolja Y25 [27]

Tehnička svojstva	
Širina kolosjeka	1435 mm
Razmak osovina	1800 mm
Promjer kotača - monoblok	920 mm
Promjer rukavca osovine	130 mm
Dužina okretnog postolja	3250 mm
Širina okretnog postolja	2341 mm
Maksimalno opterećenje po osovini 100 km/h	22,5 t

Navedeno okretno postolje može biti izvedeno uz radne modifikacije koje se uvode prema zahtjevima i potrebama kupaca.

Važno je napomenuti kako se pri izradi vagona implementiraju dva okretna postolja, no u analizi je obrađen samo jedan zasebni okvir okretnog postolja.

8. LCA ANALIZA OKVIRA OKRETNOG POSTOLJA Y25

Nakon definiranja svih bitnih koraka i pojmova vezanih za LCA analizu ista je i provedena na okviru okretnog postolja opisanog poglavljem 7. Praktična analiza provedena je kroz korake definirane normom ISO 14040 te korištenjem *SimaPro* softvera.

8.1. Cilj i obujam

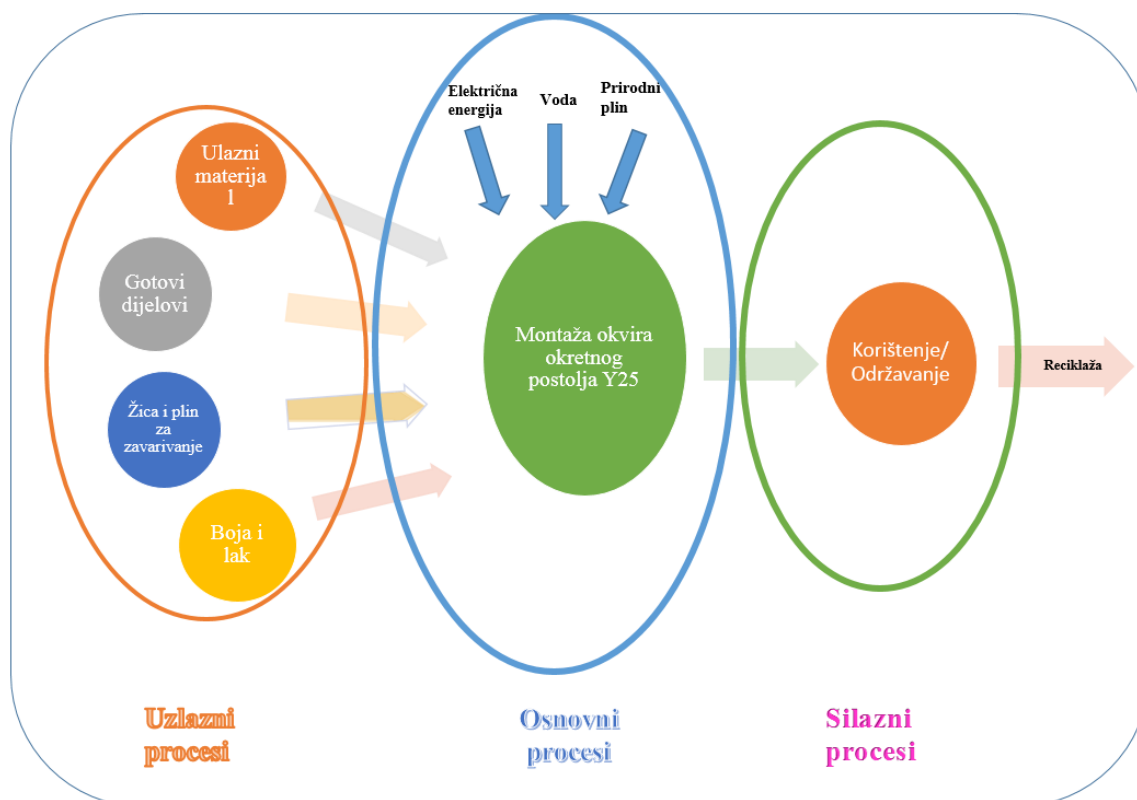
Provedena LCA analiza ima za cilj dobiti kvantitativne informacije u ključnim čimbenicima koji utječu na okoliš kroz životni vijek okretnog postolja Y25. Potrebno je naglasiti kako prema dogovoru s tvornicom Gredelj nije dozvoljeno iznositi pojedinosti o izradi okvira postolja, već će podaci o materijalima i radnim operacijama biti sažeto i strukturirano prikazani.

Dobivanje uvida u okolišni utjecaj kroz faze životnog ciklusa okvira te u iznose tih utjecaja čini osnovnu namjenu izrade LCA analize. Ciljanu publiku predstavlja TŽV Gredelj koja bi provedbom analize ovoga tipa mogla steći konkurentsku prednost na tržištu u vidu izrade EPD dokumenta ili za uspoređivanje svojeg proizvoda s nekim drugim sličnim proizvodom nekog drugog proizvođača. Također, potrebno je navesti kako analiza nije izvedena s komparativnom svrhom niti za javno prezentiranje.

Sljedeći korak je određivanje funkcijske jedinice koja je, kao što je već rečeno, središnjica svake LCA analize jer ona predstavlja referencu prema kojoj se normaliziraju svi ostali podaci prilikom izvođenja analize. U ovom slučaju, funkcijska jedinica je tonski kilometar [tkm]. Tonski kilometar je mjerna jedinica koja izražava prijevoz jedne tone robe na udaljenosti od jednog kilometra [28].

LCA analiza okvira spada u analize drugoga reda jer ne uzima u obzir utjecaje na okoliš koji su bili emitirani prilikom izgradnje objekata uključenih u bilo koju fazu nabave ili obrade materijala, kao ni održavanje istih. Ti utjecaji isključeni su opcijom „*Exclude infrastructure processes*“.

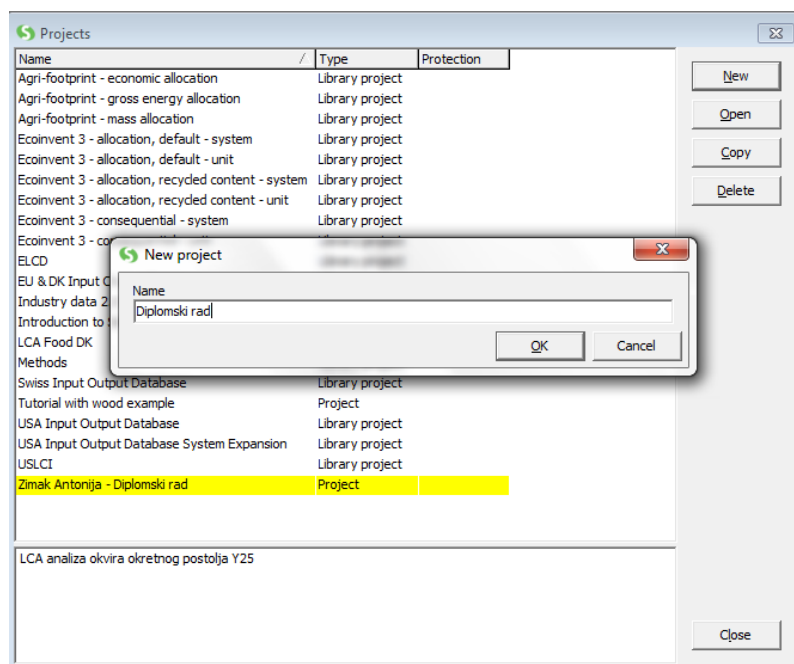
Granice sustava prikazuju uključene procese i inpute u sustav koji su strukturirani u tri već ranije opisane faze. Granice sustava prikazane su narednom slikom.



Slika 8.1. Granice sustava

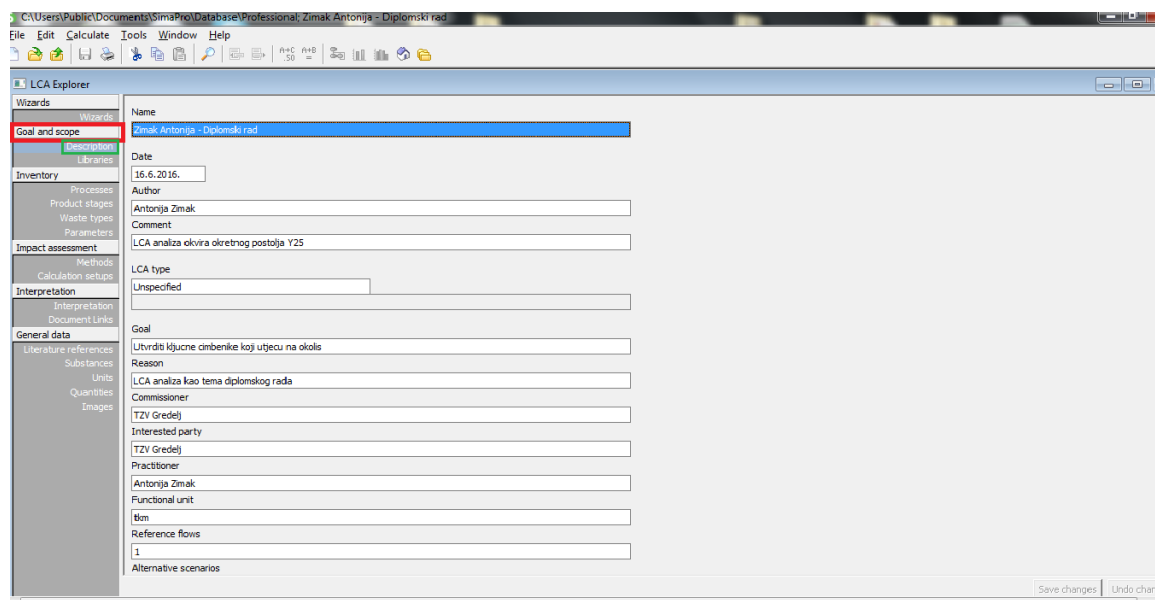
Iz slike se vidi kako uzlazne procese (*Upstream Module*) čine materijali koji ulaze u sustav i koji služe za izradu pojedinih dijelova. Osim samih materijala u sustav ulaze i gotovi dijelovi koje ne zahtijevaju dodatnu obradu. Pojednostavljenje povezano s gotovim dijelovima je to što je u *SimaPro* softver količina materijala za gotove dijelove skupa s utjecajima njihove proizvodnje sumirana s količinom ostalih ulaznih materijala. Pod resursima su ubrojeni potrošnja plina i vode potrebne za izvedbu pojedinih procesa. U uzlazne procese ubraja se još i transport materijala i gotovih dijelova do TŽV-a Gredelj. U osnovni proces (*Core Module*) ulaze montaža dijelova te električna energija utrošena u postupku montaže. Održavanje okvira i njegova reciklaža čine silazne procese (*Downstream Module*). Pri održavanju su u okviru analize uzete u obzir utrošena boja i električna energija potrošena u ovisnosti o broju radnih sati potrebnih za bojanje. Obzirom da se okvir sastoji pretežno od metala velik je i njegov postotak reciklabilnosti. Utjecaj na okoliš koji je povezan s reciklažom predstavlja transport okvira, sada već neadekvatnog za upotrebu, do lokacije na kojoj će se reciklaža odvijati.

Prva faza u *SimaPro* softveru uključuje izradu projekta, definiranje cilja i opsega i to na način prikazan sljedećim slikama.



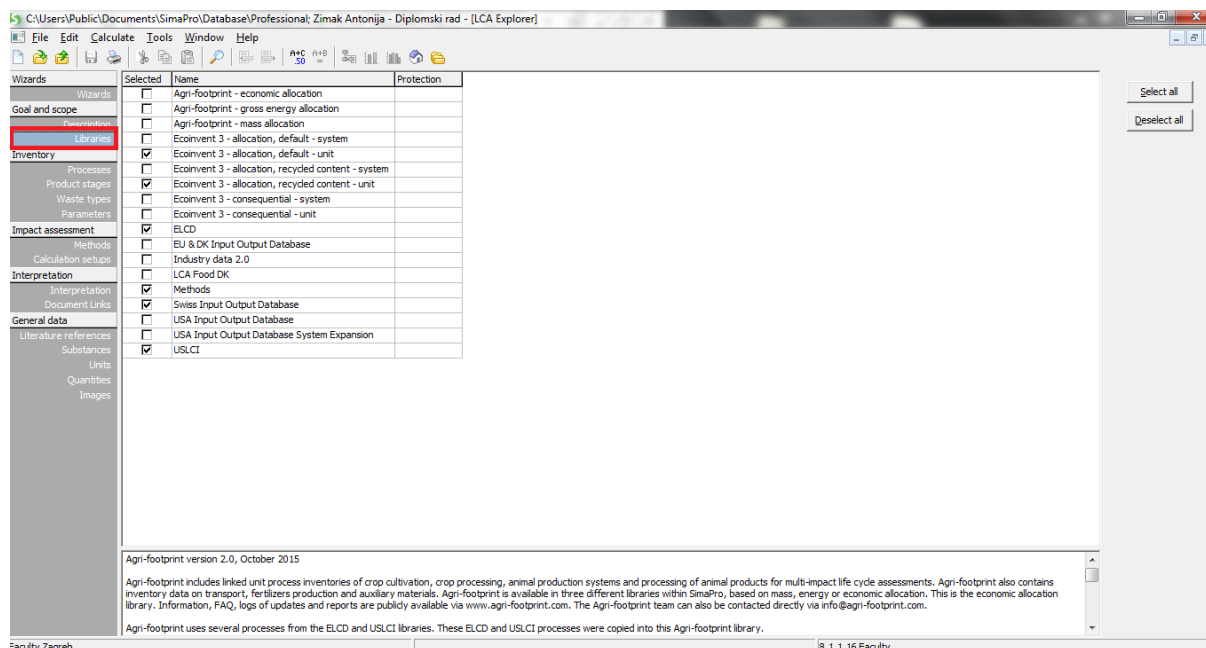
Slika 8.2. Otvaranje novog *SimaPro* projekta

Nakon pokretanja *SimaPro* softvera potrebno je izraditi novi projekt koji će biti razrađen po stavkama uokvirenima crvenom bojom na slici 8.2. Stavke su „Goal and scope“, „Inventory“, „Impact assessment“, „Interpretation“, te „General data“.



Slika 8.3. Opis projekta

Kao što se sa slike može vidjeti nakon otvaranja novog projekta važno ga je definirati. Potrebno je upisati izvođača LCA analize, datum izrade projekta, cilj, razlog provedbe ispitivanja, osobe zadužene za prikupljanje podataka te zainteresirane strane. Također, potrebno je navesti funkcijsku jedinicu i referentni protok.



Slika 8.4. Odabir baza podataka

Nakon opisa projekta nužno je odabrati i baze podataka iz kojih će softver izvlačiti potrebne podatke za analizu. Odabrane su baze podataka „Ecoinvent 3 – allocation, default-unit“, „Ecoinvent 3 – allocation, recycled content-unit“, „ELCD“, te „USLCI“.

8.2. Analiza inventara

Prema određenom cilju i u okviru granica sustava izvedena je i analiza inventara. Informacije o materijalima i radnim operacijama za izradu okvira dobiveni su direktno iz TŽV-a Gredelj. Kao što je već rečeno, nije moguće prikazati potpune informacije o materijalima i radnim operacijama, stoga su u narednim odlomcima prikazane njihove strukturirane verzije. Također, važno je napomenuti i ulazne resurse kao i transport te njihove utjecaje na okoliš. Sve potrebne informacije i pretpostavke vezane uz resurse i transport nalaze se u niže napisanim poglavljima.

8.2.1. Materijal

Sljedećom su tablicom prikazani potrebni materijali za proizvodnju okvira okretnog postolja. Kao ulaz su korišteni već izrađeni dijelovi u obliku limova, šipki, profila i cijevi te ostali popratni materijali i dijelovi čiji je utjecaj znatno manji što ne začeđuje obzirom da su njihove količine znatno manje.

Tablica 8.1. Popis ulaznih materijala

Materijal	Količina	Mjerna jedinica
Čelik	1438,44	kg
Guma	0,2	kg
Plastika	0,2	kg
Drvo	0,015	m ³
Žica za zavarivanje	62,8	kg
Boja	22,06	kg

Tablica 8.2. Popis gotovih dijelova

Dio	Masa jednog komada	Broj potrebnih komada	Ukupna masa
KLIZAČ TIJELO Y-25 UNEX ODLJEVAK; TP 003	42,98	3	128,94
KLIZAČ TIJELO Y-25 UNEX ODLJEVAK; TP 005	42,1	1	42,1
Σ			171,04

Iz tablica 8.1 i 8.2 Može se vidjeti kako najviše čelika ulazi u sustav, točnije 1438,44 kg. Ovdje je učinjeno pojednostavljenje prilikom unašanja materijala u softver u vidu pribrojene količine lijevanog čelika potrebne za izradu gotovih dijelova, a ona iznosi 171,04 kg, što u konačnici čini 1609,48 kg čelika utrošenog za izradu okvira postolja. Drveni i gumeni dijelovi ne čine značajan postotak ulaznog materijala, stoga nisu uzeti u analizu. Uz ove navedene dijelove u obzir nisu uzete ni žice za zavarivanje, kao ni plin utrošen pri zavarivanju. U obzir je uzeta količina samoljepljive folije za pakiranje (u tablici pod nazivom plastika) te ukupna količina boje i laka koji se koriste u pri izradi, ali i u kasnijoj fazi održavanja. Boja i lak na bazi su vode što ih čini ekološki prihvatljivijima od boja s uljnom ili nekom drugom (nevodenom) bazom.

8.2.2. Radne operacije

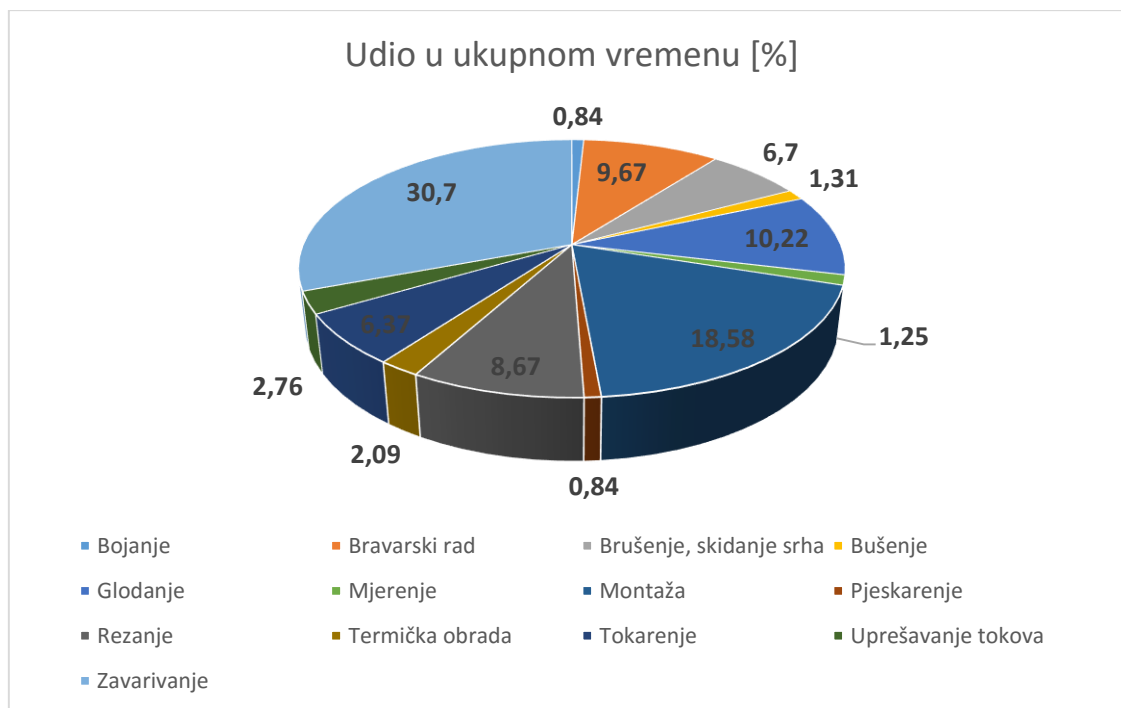
Nakon nabave materijala, potrebnih dijelova te kupnje već gotovih, obrađenih komada potrebno ih je ukomponirati u željeni sklop, tj. u okvir okretnog postolja. Proces montaže, kao što je ranije navedeno, spada u osnovni proces ove analize i sastoji se od obrade pojedinih komada limova, šipki i ostalog navedenog materijala po potrebi i zavarivanja u sklop. U narednoj tablici navedene su sve radne operacije i njihova vremena trajanja u minutama i satima.

Prilikom unošenja u softver nije bilo moguće unijeti podatke vezane uz pojedine operacije iz dva razloga. Prvi je taj što dobivene informacije o operacijama nisu bile dostatne za definiranje svake od operacija, a drugi razlog je taj što softver ne funkcionira na način da se unose operacije poput tokarenja, glodanja, zavarivanja i sl., već se ti procesi moraju opisati nizom parametara, no ovako detaljan pristup nije u definiciji opsega analize.

Tablica 8.3. Popis radnih operacija

Radna operacija	Udio u ukupnom vremenu [%]
Bojanje	0,84
Bravarski rad	9,67
Brušenje, skidanje srha	6,7
Bušenje	1,31
Glodanje	10,22
Mjerenje	1,25
Montaža	18,58
Pjeskarenje	0,84
Rezanje	8,67
Termička obrada	2,09
Tokarenje	6,37
Uprešavanje tokova	2,76
Zavarivanje	30,7
Σ	100%

Tablica 8.3 prikazuje popis radnih operacija i udjele njihovih vremena trajanja u odnosu na ukupno vrijeme i to abecednim redom, a ne prema njihovom redoslijedu izvođenja. Iz gore navedene tablice se može jasno vidjeti kako je zavarivanje najdugotrajnija radna operacija i čini čak 30,7% ukupnog vremena u cijelom procesu [Slika 8.5]. Zatim slijedi montaža sa 18,58% udjela u ukupnom vremenu, a slijedi je glodanje.



Slika 8.5. Udio vremena zavarivanja [%]

Pie Chart na slici 8.5 potvrđuje navedeni postotak od 30,7% koji čini udio vremena potrebnog za zavarivanje u odnosu na ukupno vrijeme procesuiranja okvira.

8.2.3. Resursi

U ovoj fazi potrebno je spomenuti i potrošnju resursa koji su uzeti u obzir. Pilikom provedbe ove LCA analize u sustav i softver su unešeni iznosi potrošnje električne energije, vode te prirodnog plina. Iznosi navedenih resursa dobiveni su na temelju potrošnje strojeva za obradu i broja njihovih radnih sati. Učinjena pretpostavka je vezana uz potrošnju vode i prirodnog plina. Naime, zbog nemogućnosti dobivanja konkretnih internih podataka iz TŽV-a Gredelj kao pretpostavka za potrošnju vode i prirodnog plina poslužila je informacija iz već ranije provedene LCA analize koja je uspjela ishoditi svoju EPD deklaraciju [29]. Prema toj analizi prosječna potrošnja vode po satu rada iznosi 0,069 m³/h, dok potrošnja prirodnog plina po satu rada iznosi 0,5611 m³/h. Također, za strojeve za koje nije poznata potrošnja el. energije iz iste analize preuzet je podatak koji govori kako je prosječna potrošnja po satu rada 2,4739 kWh.

Tablica 8.4. Potrošnja resursa

Resurs	Utrošena količina	Mjerna jedinica
Električna energija	526,72	kWh
Prirodni plin	47,93	m ³
Voda	5843,18	kg

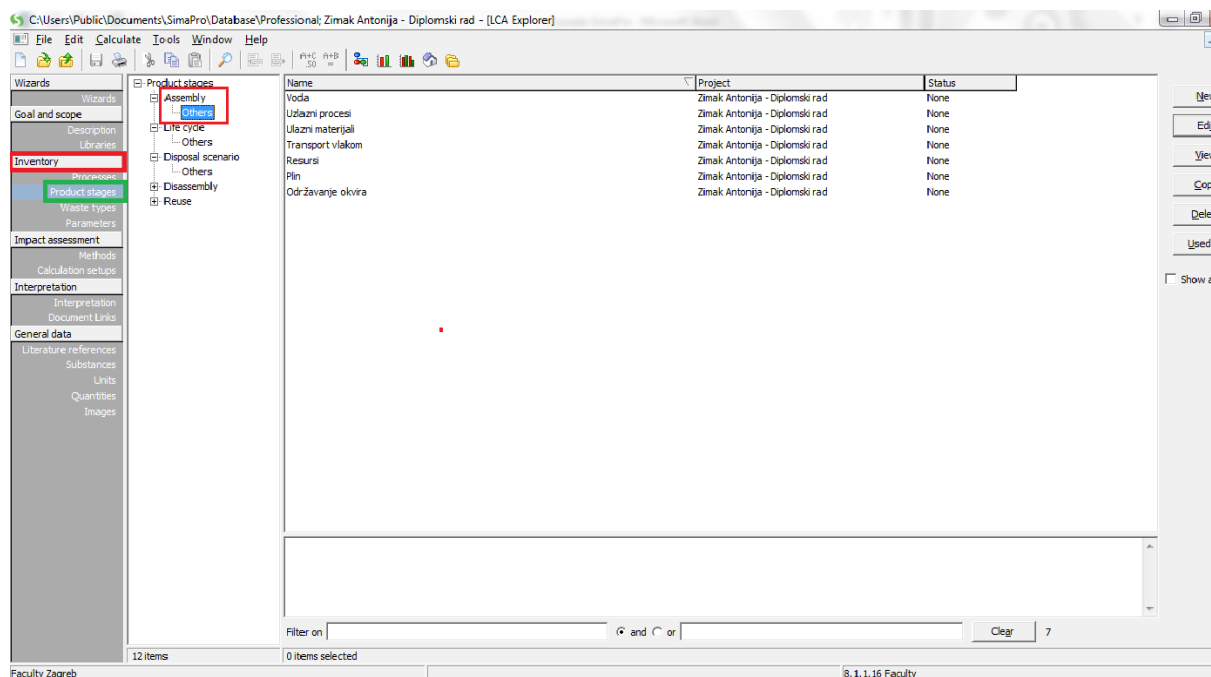
8.2.4. Transport

Na koncu, potrebno je spomenuti i transport. Materijali se nabavljaju i dostavljaju s raznih lokacija. Najčešći način transporta je onaj željezničkim putem koji definitivno ostavlja svoj otisak na okoliš. Nužno je napomenuti kako izgradnja željezničke infrastrukture ne ulazi u opseg analize, kao ni postupci održavanja pruga, vlakova i ostalih sastavnih komponenti željezničkog prometa. Lokacije s kojih se transportiraju pojedini dijelovi do TŽV-a Gredelj su:

Tablica 8.5. Transport materijala

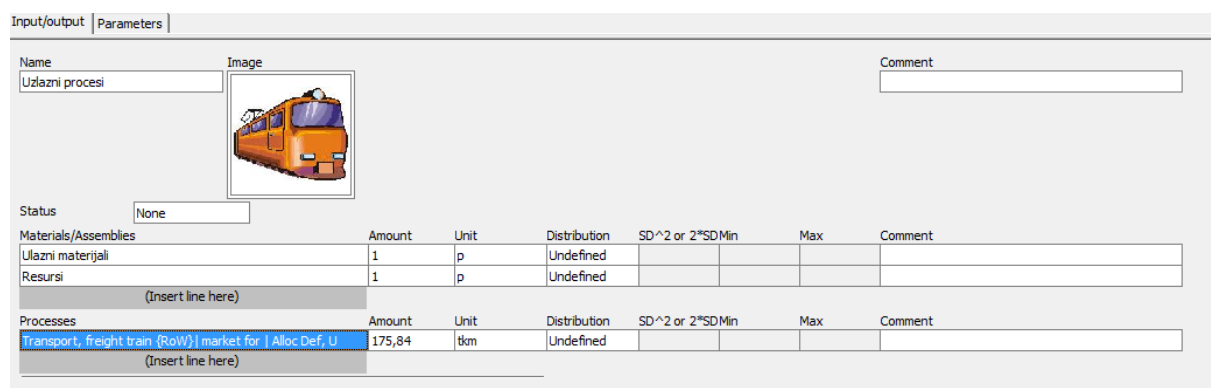
Dostavljeni materijal	Masa materijala [t]	Lokacija dobavljača	Udaljenost	[tkm]
Čelični dijelovi	1,43984	Zagreb, Hrvatska	≈35	50,3944
Žica za zavarivanje	0,0628	Zagreb, Hrvatska	≈35	2,198
Rukavac donje zdjele	0,015	Niš, Srbija	672,08	10,0812
Kliznice	0,17104	Bratislava, Slovačka	441,58	75,53
Boja i lak	0,022606	Pariz, Francuska	1392,53	30,72
Čelna greda+Donja lamela	0,0832	Čakovec, Hrvatska	102,14	8,488
Σ	1,794486		2608,33	177,4116

Nakon faza razumijevanja i pripreme podataka za sve kategorije, navedene materijale i njihove količine, resurse i transport iskazane u kvantitativnom obliku potrebno je unijeti u *SimaPro* softver kako bi on mogao izgenerirati podatke i na temelju unesenoga provesti analizu. Koraci unošenja podataka u *SimaPro* prikazani su sljedećim slikama.



Slika 8.6. Izrada Assembly-a

Prvi potreban korak je izraditi *Assembly*-e te ih definirati traženim parametrima. Izrađeno je 7 *Assembly*-a i svaki od njih poslužit će kao baza za iduću fazu, a ona je definiranje životnog ciklusa (*Life Cycle*). U *Assembly* „Uzlazni procesi“ uključeni su pod *Assembly*-i „Uzlazni materijali“ i „Resursi“, te transport vlakom kao proces [Slika 8.7].



Slika 8.7. Assembly „Uzlazni procesi“

Važno je objasniti što znače kratice u opisu transporta vlakom na gore navedenoj slici. U vitičastim zagradama se općenito nalazi kratica područja na koje su primjenjivi podaci iz ranije kreiranih procesa iz ranijih LCA analiza. U ovom slučaju to je kratica {RoW} (eng. *Rest of World*) koja govori da se podaci mogu primijeniti na bilo koje područje na zemlji jer nema strogo određenog lokaliteta primjene. Opcija „*Market for*“ se preporuča koristiti kada nisu poznati proizvođači pojedinih dijelova uključenih u bazu podataka [30]. „*Alloc Def*“ kratica je od *Allocation Default* što znači da je pri analizi korišteno unaprijed zadano

atribucijsko modeliranje, dok oznaka „U“ predstavlja *Unit*. Odabirom komponente opisane kraticom „U“ automatski su uključeni apsolutno svi procesi vezani uz odabranu komponentu, od ekstrakcije materijala, obrade materijala, pa sve do proizvodnje i održavanja [19]. Iz tog razloga u osnovni dio analize nije bilo potrebno ubacivati resurse potrebne za obradu svakog od dijelova okvira. Svi odabrani inputi u analizi opisani su oznakama „Market for“, „Alloc Def“ i „U“.

Pod_*Assembly* „Ulazni materijali“ je bio ključan i na njegovo se definiranje utrošilo najviše vremena jer je bilo potrebno što točnije odrediti materijale iz baze koji se slažu s materijalima korištenima pri izradi okvira Y25. Slika 8.8 Prikazuje materijale unesene u proces.

Edit assembly 'Ulazni materijali'

Input/output | Parameters

Name: Ulazni materijali

Image:

Comment:

Status: None

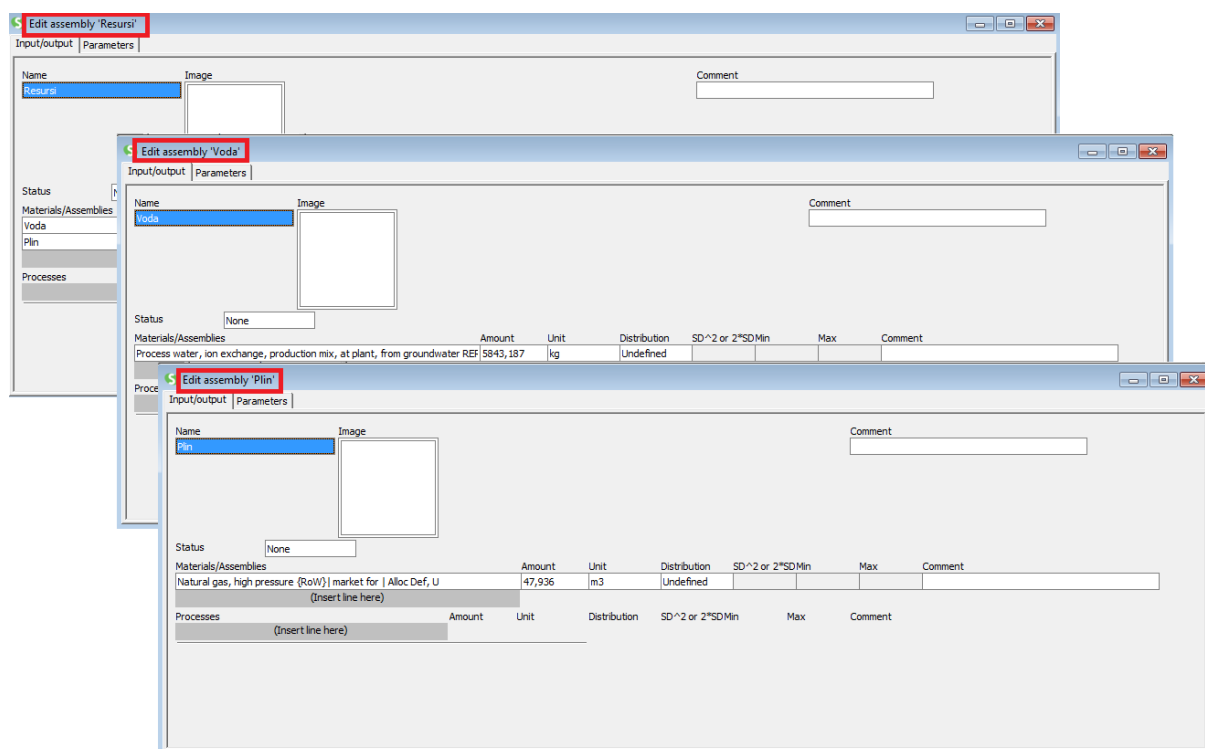
Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Steel, unalloyed {GLO} market for Alloc Def, U	32,56	kg	Undefined			
Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO} market for Alloc Def, U	0,25	kg	Undefined			
Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Alloc Def, U	1486,03	kg	Undefined			
Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Alloc Def, U	0,2	kg	Undefined			
Polycrylamide {GLO} production Alloc Def, U	22,06	kg	Undefined			
Cast iron {GLO} market for Alloc Def, U	171,04	kg	Undefined			
(Insert line here)						

Processes

(Insert line here)

Slika 8.8. Assembly „Ulazni materijali“

Assembly „Resursi“ čine pod_*Assembly*-i „Voda“ i „Plin“ [Slika 8.9]. Kao i u slučaju „Ulaznih materijala“ bilo je potrebno zahvatiti neku od ponuđenih opcija iz baze podataka i njoj pridružiti valjane vrijednosti potrošnje vode i prirodnog plina u svakom od pripadajućih pod_*Assembly*-a.



Slika 8.9. Assembly „Resursi“

8.3. Utjecaj na okoliš

Treća faza u provedbi analize životnog ciklusa je procjena utjecaja na okoliš. U ovoj fazi će biti prikazani utjecaji na okoliš i to kroz „mid-point“ kategorije utjecaja kao što je navedeno poglavljem 3. Za analizu korišten je *SimaPro* softver i jedna od 14 europskih metoda koje on nudi, a odabrana metoda je CML-IA baseline. Opis CML-IA metode također je dan u poglavlju 3.

Kako bi zaokružili životni ciklus okvira Y25 potrebno je bilo izrađene *Assembly*-e smisljeno povezati prema vremenskom slijedu, a i prema strukturi prikazanoj na slici 8.1.

Input/output | Parameters

Name: Life Cycle_Okvir okretog postolja Y25

Image:

Status: None

Assembly	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Uzlazni procesi	1	p	Undefined			

Processes	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Electricity, medium voltage (tHR) market for Alloc Rec, U	526,72	kWh	Undefined			
(Insert line here)						

Waste/Disposal scenario: ?

Additional life cycles	Number	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Life_Cycle Održavanje okvira	1	Undefined			
(Insert line here)					

Slika 8.10. Životni ciklus okvira okretnog postolja Y25

Na slici 8.10 vidi se kako je temeljni *Assembly* za provedbu analize onaj pod nazivom „Uzlazni procesi“ jer su u njega uključeni svi inputi sustava i studije. Mjerna jedinica „Uzlaznih procesa“ je 1 p (eng. *piece*), tj. jedan komad bez obzira što se u jedan vagon montiraju po dva okretna postolja. Kao proces je uzeta potrošnja električne energije u iznosu od 526,72 kWh kao što je izračunato u tablici 8.4.

Može se uočiti i dodatni životni ciklus (eng. *Additional Life Cycle*) kojeg je bilo potrebno izraditi kako bi se u sustav unio utjecaj održavanja [Slika 8.11].

Input/output | Parameters

Name: Life_Cycle Održavanje okvira

Image:

Status: None

Assembly	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Održavanje okvira	1	p	Undefined			

Processes	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Electricity, high voltage (tHR) market for Alloc Def, U	15,1526	kWh	Undefined			
(Insert line here)						

Slika 8.11. SimaPro - održavanje okvira

Sa slike 8.11 vidi se da je *Assembly* „Održavanje okvira“ baza za istoimeni *Life Cycle* proces. Iako silazni procesi obično u obzir uzimaju i korištenje proizvoda te njegov kraj životnog ciklusa i odlaganje ili zbrinjavanje, ovdje to nije slučaj. Obzirom na nedostatak podataka u korištenju i konkretnom postupku korištenja i održavanja u obzir je uzeta samo količina boje i laka koja se utroši prilikom faze bojanja okvira i to u narednih 35 godina od izrade okvira, koliko je procijenjeni vijek trajanja ovog proizvoda. Pretpostavlja se da se okvir boja svake 4 godine stoga je u narednih 35 godina potrebno utrošiti 193,025 kilograma boje. Kao proces ovog *Assembly*-a ponovno je uzeta potrošnja električne energije potrebna za fazu bojanja okvira. Ovaj silazni proces održavanja morao je biti izveden u obliku *Life Cycle*-a jer zbog ograničenosti fakultetske verzije *SimaPro* softvera nije postojala druga opcija, no to nema utjecaj na dobivene rezultate.

Što se tiče zbrinjavanja otpada prilikom proizvodnje i odlaganja okvira nakon završetka njegovog životnog vijeka važno je reći kako se ti procesi ne uzimaju obzir. Ne uzimaju se iz tog razloga što je gotovo 100% materijala reciklabilno te se odvozi na reciklažu u adekvatne kompanije. Utjecaj na okoliš u toj fazi čini samo transport do kompanije koja će preuzeti otpad ili neupotrebljivi okvir.

Edit disposal scenario 'Zbrinjavanje'

Input/output | Parameters

Name: Zbrinjavanje

Status: None

Referring to assembly:

Referring to assembly	Amount	Unit	Comment
Ulazni materijali	0	p	

Processes:

Processes	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Transport, freight train (Row) market for Alloc Def, U	98,9193	tkm	Undefined			
(Insert line here)						

Waste scenarios:

Waste scenarios	Percentage	Comment
(Insert line here)		

Disassemblies:

Disassemblies	Percentage	Comment
(Insert line here)		

Reuses:

Reuses	Percentage	Comment
Zbrinjavanje	100 %	
(Insert line here)		

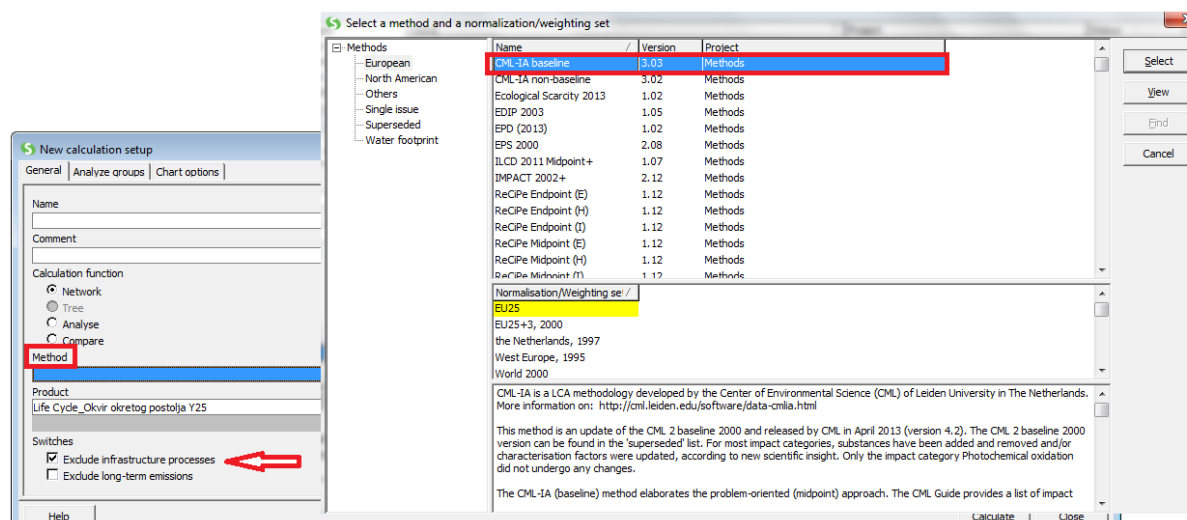
Slika 8.12. Zbrinjavanje okvira

Dobiveni rezultati će biti prikazani prema kategorijama koje su navedene u poglavlju o CML-IA metodi. Svaki od rezultata bit će prikazan grafički, zasebnim dijagramom te će biti prokomentiran. Od 10 navedenih kategorija u nastavku će biti prikazano njih 5 je prema PCR-u za EPD vlakova je dovoljno navesti 5 sljedećih utjecaja [31]:

Tablica 8.6. Obvezne kategorije utjecaja prema PCR-u za EPD vlakova

Kategorija utjecaja	Mjerna jedinica
Potencijal globalnog zatopljenja	kg CO ₂ equiv.
Potencijal uništavanja ozonskog omotača	kg CFC 11 equiv.
Potencijal acidifikacije	kg SO ₂ equiv.; osnovna verzija
Potencijal eutrofikacije	kg PO ₄ equiv.; osnovna vezija i/ili kg O ₂
Potencijal fotokemijskog stvaranja ozona	kg C ₂ H ₄ .; osnovna verzija

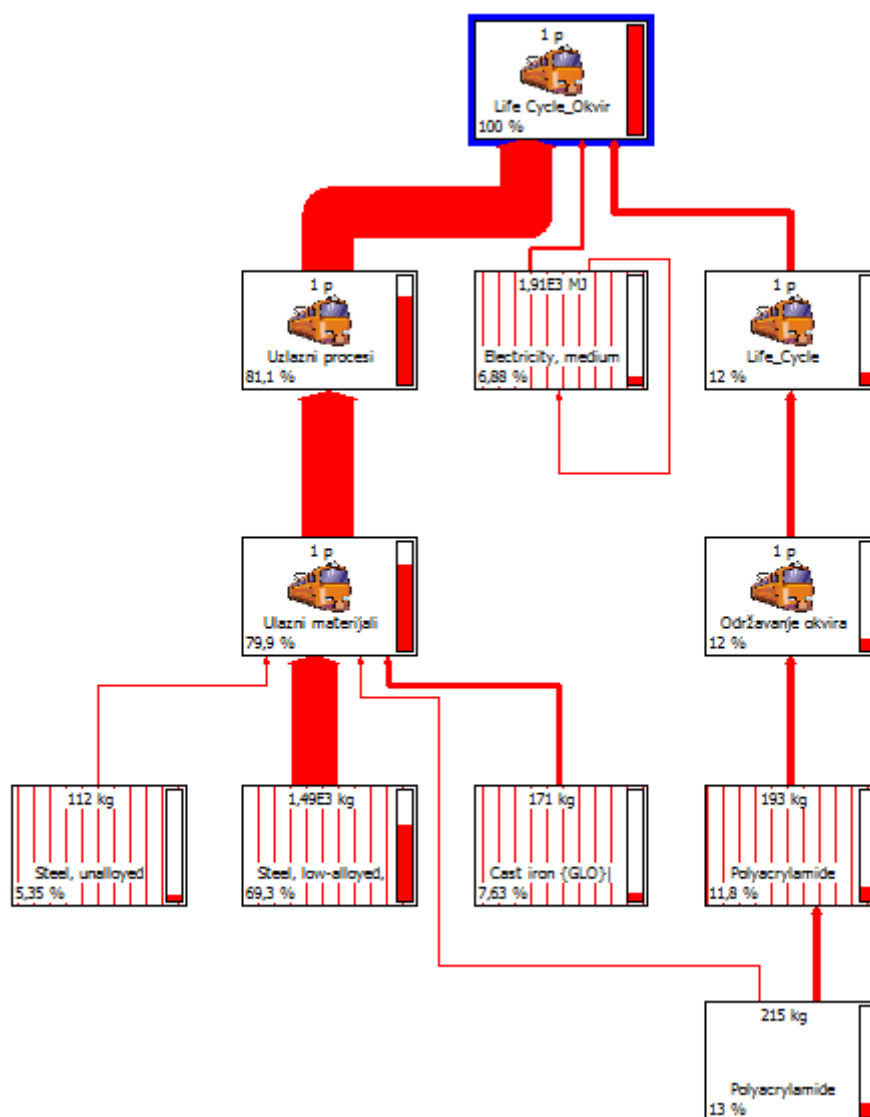
Prije prikaza podataka slikom 8.13 bit će prikazan odabir metode te pokretanje analize u softveru.



Slika 8.13. Odabir metode za provedbu LCA analize

Navedeno je kako opseg ove studije ne uzima u obzir utjecaje na okoliš koji su bili emitirani prilikom izgradnje objekata uključenih u bilo koju fazu nabave ili obrade materijala, kao ni održavanje istih. Ti utjecaji isključeni su opcijom „*Exclude infrastructure processes*“.

8.3.1. Potencijal globalnog zatopljenja (eng. *Global Warming Potential, GWB*)

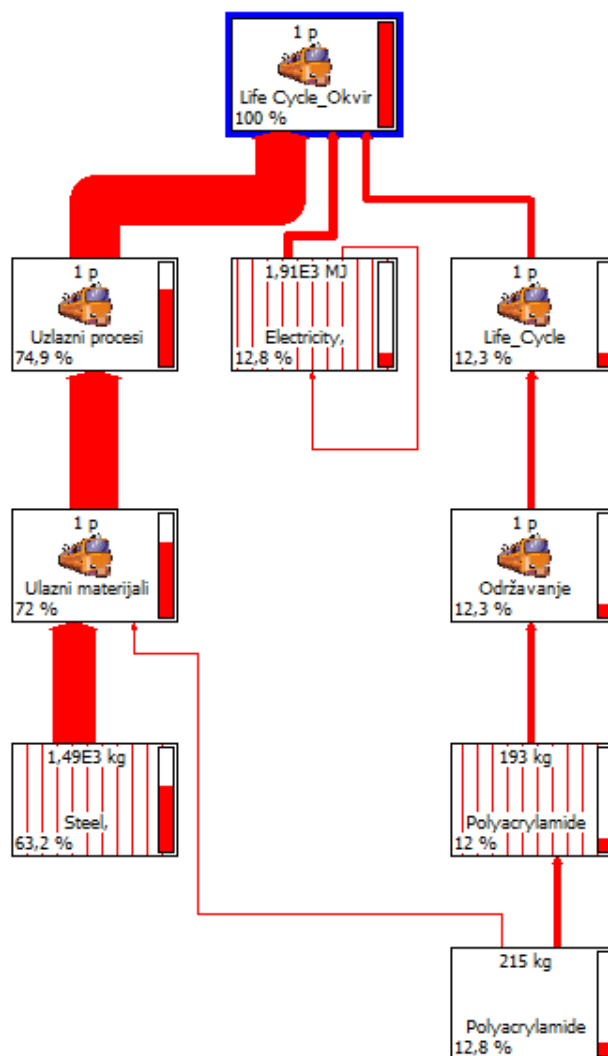


Slika 8.14. Grafički prikaz utjecaja na globalno zatopljenje

Slikom 8.14 prikazano je 11 najvažnijih utjecaja na globalno zatopljenje od njih 14206. Definitivno najveći utjecaj čine Uzlazni materijali. Točnije, samo količina potrebnog čelika i procesi vezani za čelik imaju najveći utjecaj, dok ostali materijali ne dolaze toliko do izražaja. U Uzlazne procese uključeni su i resursi, tj. potrošnja vode i plina, no njihov utjecaj je zasigurno manji od 6,88% (utjecaj električne energije) koliko iznosi najmanji utjecaj na slici. U slučaju da je njihov utjecaj veći od tog iznosa i Resursi bi se našli u dijagramu.

Mjerna jedinica GWB-a je kg CO₂ equiv. Ona govori koliko je kilograma stakleničkih plinova ekvivalent jednom kilogramu ugljičnog dioksida [32].

8.3.2. *Potencijal uništavanja ozonskog omotača (eng. Ozone Depletion Potential, ODP)*

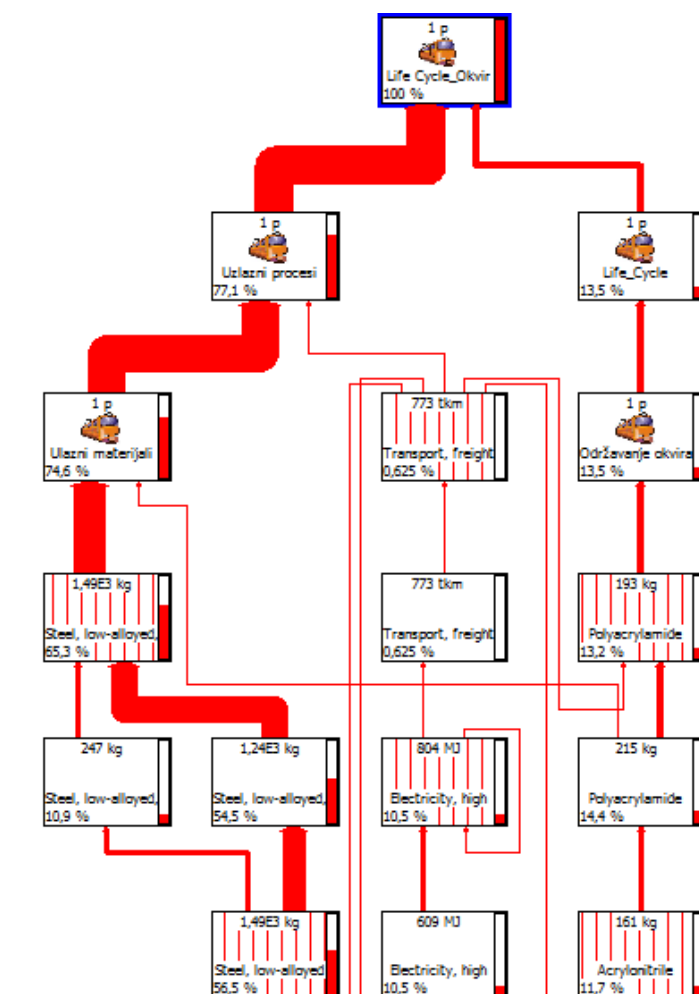


Slika 8.15. Grafički prikaz utjecaja na ozonski omotač

ODP se definira kao količina oštećenog ozona od strane jedne mjerne jedinice [kg] plina i njegove pretvorbe u triklorfluormetan (eng. *trichlorofluoromethane, CFC*) koji je vrlo važan za procjenu efekata raznih plinova [33]. Mjerna jedinica ODP-a je kg CFC 11 equiv. na koju se svode sve količine ostalih materijala i njihovih utjecaja.

Sa slike 8.15 jasno se može vidjeti kako na oštećivanje ozonskog omotača najveći utjecaj imaju Uzlazni procesi i to čak 74,9%. Ovaj postotak ne čudi jer je uz same materijale u obzir uzeti njihova ekstrakcija, legiranje, strojna obrada, montaža i svi ostali procesi do kraja njihovog životnog vijeka, tj. do reciklaže. I ovdje je važno reći kako su na ovom dijagramu prikazana tek 9 utjecaja od njih čak 14206. prikazani su samo oni čiji utjecaj iznosi više od 10%.

8.3.3. Potencijal acidifikacije (eng. Acidifying Potential, AP)

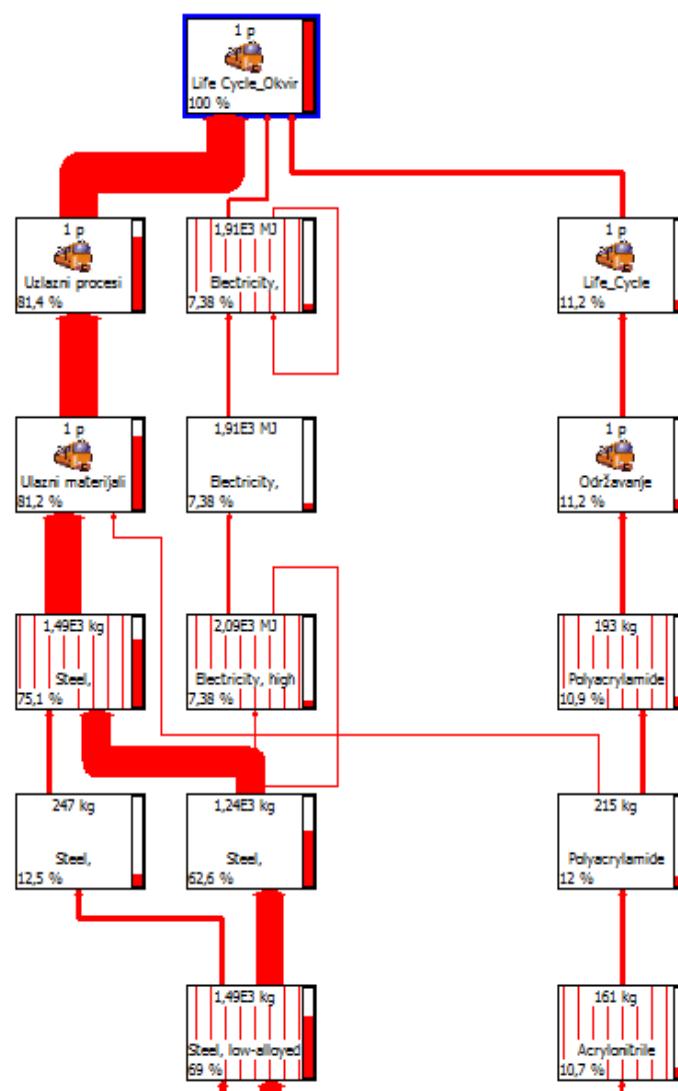


Slika 8.16. Grafički prikaz potencijala acidifikacije

Potencijal acidifikacije predstavlja ukupnu mjeru potencijala zakiseljavanja od strane pojedinih supstanci, i ona se računa putem konverzijskih faktora kojima se te supstance pretvaraju u ekvivalente zakiseljavanja kao što su sumporov oksid, dušik i amonijaka [34]. Mjerna jedinica u *SimaPro* softveru i metodu CML-IA baseline za AP jest kg SO₂ equiv.

Kao i u prve dvije kategorije utjecaja, analiza potencijala acidifikacije također pokazuje izniman utjecaj Uzlaznih procesa i to njihove komponente materijala koja od ukupnih 77,1% utjecaja Uzlaznih procesa čini 74,6%, što znači da na potrošnju resursa odlazi tek 2,5%. Drugi sljedeći utjecaj čini održavanje okvira bez obzira što su u taj dio procesa uključeni samo boja i lak te električna energija. Za razliku od npr. utjecaja na ozonski omotač, utjecaj na okoliš uslijed potrošnje struje ne dolazi toliko do izražaja.

8.3.4. Potencijal eutrofikacije (eng. *Eutrophication Potential, EP*)

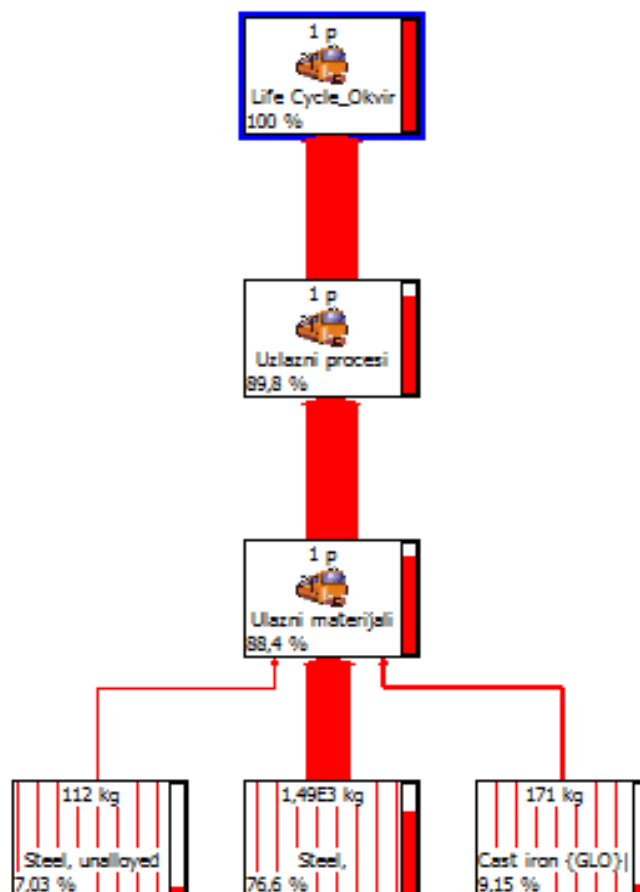


Slika 8.17. Grafički prikaz potencijala eutrofikacije

Prema slici 8.17 zaključak je kao i za prethodne grafičke prikaze, a on je najveći ekološki utjecaj Uzlaznih procesa, tj procesa povezanih uz sve vrste čelika u sustavu. Sljedeći po redu je, i u ovom slučaju utjecaj održavanja okvira, dok se za razliku od prethodne dvije kategorije smanjio utjecaj električne energije za nekoliko postotaka. Može se vidjeti kako se u ovom slučaju na dijagramu ne nalazi transport, što govori o njegovom niskom potencijalu za eutrofikaciju.

Mjerna jedinica potencijala eutrofikacije u osnovnoj verziji CML-IA metode je kg PO₄ equiv. s kojim se uspoređuju svi dobiveni utjecaji.

8.3.5. *Potencijal fotokemijskog stvaranja ozona (eng. Photochemical Ozone Creation Potential, POCP)*



Slika 8.18. Grafički prikaz potencijala fotokemijskog stvaranja ozona

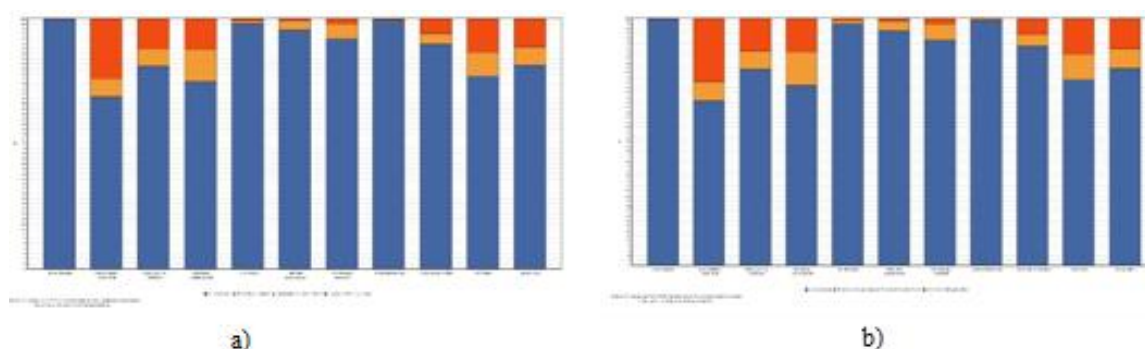
Potencijal fotokemijskog stvaranja ozona (POCP) znači potencijal pojedinog hlapivog organskog spoja, u odnosu na druge takve spojeve, da reakcijom s dušikovim oksidima pri sunčevoj svjetlosti stvori ozon. [35]. Mjerna jedinica ovog potencijala jest kg C₂H₄ equiv. i prema njemu se računaju vrijednosti ostalih utjecaja.

Ovaj dijagram čini samo jedna glavna grana i pokazuje utjecaj izričito Uzlaznih procesa, što ga razlikuje od ostalih do sada viđenih. Najveći učinak ima stavka čelik, koju slijedi lijevano željezo, a zatim nelegirani čelik. Ostali utjecaji imaju praktički zanemariv utjecaj stoga nisu prikazani dijagramom.

8.4. Interpretacija

Interpretacijom treba definirati stavke i utjecaje koje je softver izbacio kao potencijalno najproblematičnijima. Kao što se iz gornjih dijagrama može vidjeti stavka Uzlazni procesi sa svojom podstavkom Ulazni materijali ima najveći utjecaj prema svim kategorijama pokazatelja. Proizvodnja čelika (čeličnih komada koji čine ulaz u sustav) dugotrajan je proces s mnogo koraka izvedbe koji zahtijevaju i korištenje mnogo resursa, stoga ne čudi što je ovaj dio definiranog sustava definitivno lider u ekvivalentnim vrijednostima za sve kategorije pokazatelja.

Usporedbe radi, u analizi su Ulazni materijali smanjeni za 10% što je dovelo do smanjenja utjecaja na GWP u iznosu od 1,8%, na ODP smanjenje u iznosu od 2,2%, na AP 2%, na EP 1,7%, te na POCP u iznosu od 1,1%. Da nema značajnih promjena ni nakon smanjenog unosa materijala od 10% pokazuju i sljedeća dva histograma prikaza.

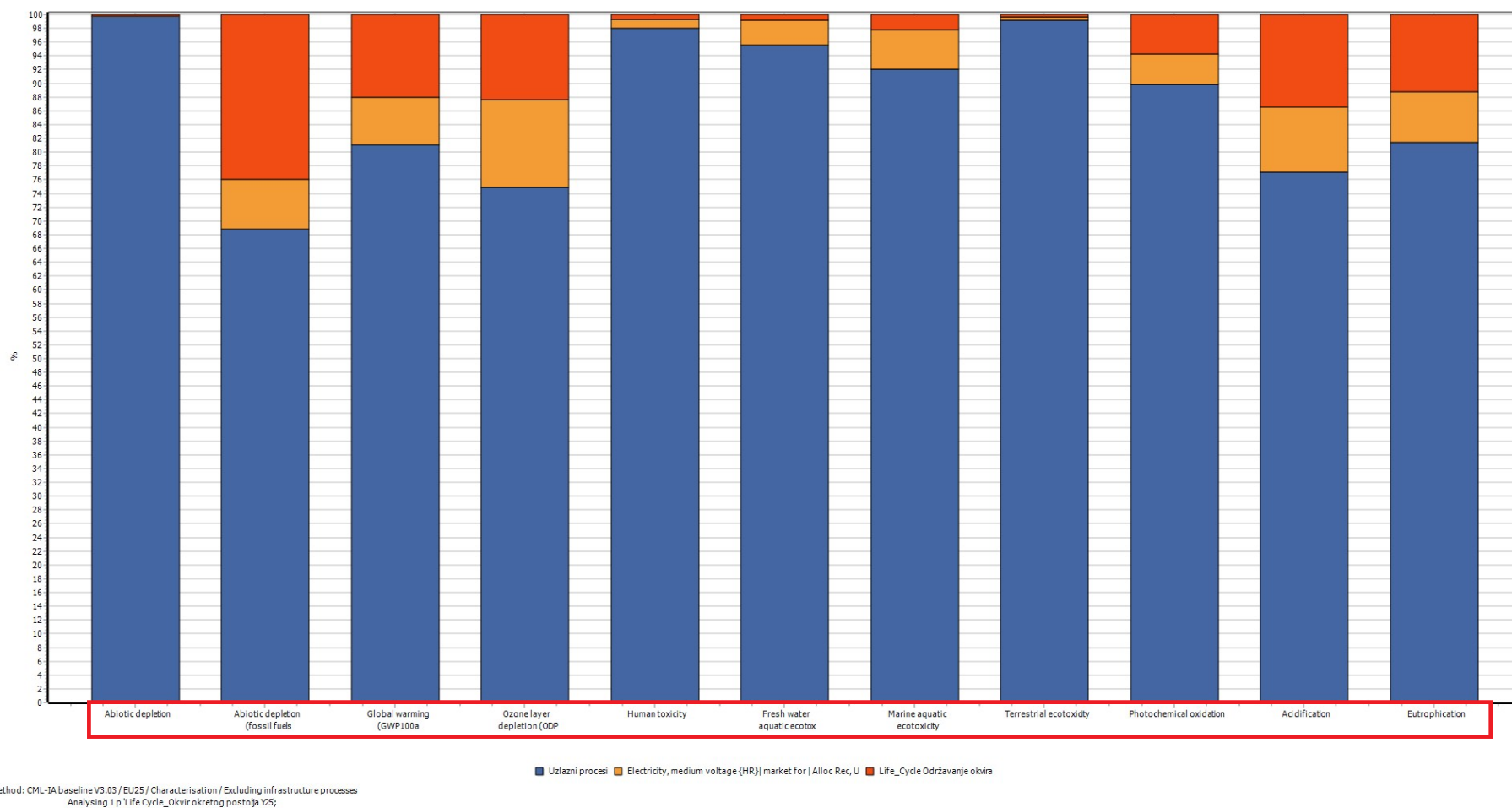


Slika 8.19. Histogramski prikaz utjecaja na okoliš (a) S stvarnim unosom materijala; b) S 10% manje unesenog materijala)

Plava boja na slici 8.19 predstavlja Uzlazne procese, narančasta boja predstavlja utjecaj električne energije, dok se crvena boja odnosi na održavanje okvira.

Ovi mali postotci ukazuju kako bi se trebala drastično smanjiti količina materijala pri izradi da bi ekološki utjecaj bio manji i prihvatljiviji. Poboljšanje bi se možda moglo provesti u vidu zamjene materijala s boljim ekološkim utjecajima.

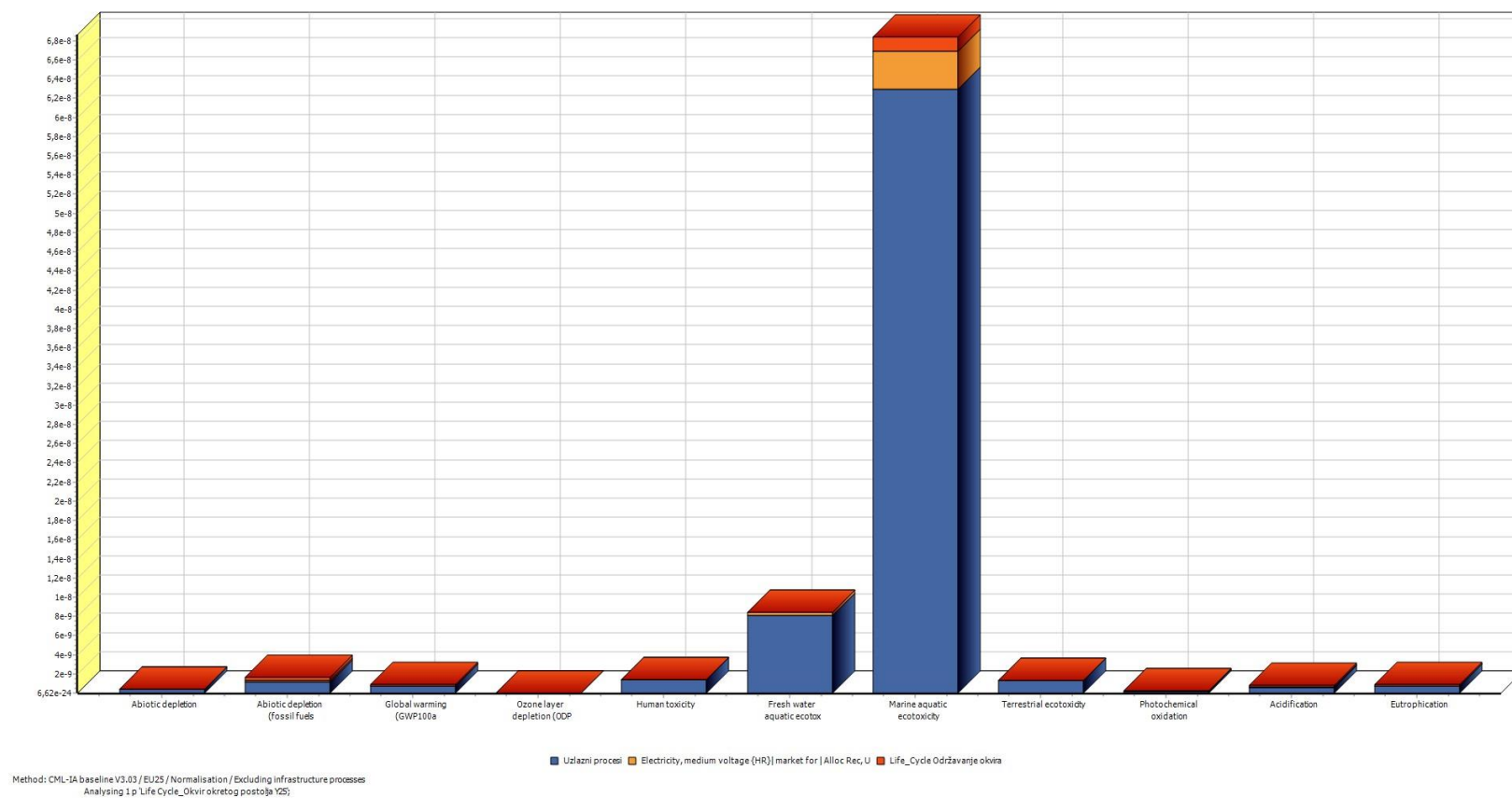
Histogram materijala unesenog u sustav s njegovim realnim vrijednostima još jednom je uvećano prikazan na sljedećoj slici.



Slika 8.20. Histogram utjecajnih kategorija

Na histogramu su crvenom bojom zaokružene sve kategorije utjecaja, pa se tako uz one već navedene mogu pronaći utjecaji na ljudsko zdravlje, iskorištavanje abiotičkih resursa, utjecaj na mora i oceane i dr. Vidi se kako je najveći utjecaj Uzlaznih procesa na abiotičke resurse te na ljudsko zdravlje što ne iznenađuje jer je ljudska komponenta neposredno uključena u svaki proces obrade materijala, ali su izloženi i ljudi nevezani s proizvodnjom jer putem zraka, vode i tla dolaze u kontakt s emisijama nastalim tijekom cijelog životnog ciklusa okvira okretnog postolja.

Također, rezultati se mogu prikazati u normaliziranom slikom što prikazuje sljedeća slika.



Slika 8.21. Histogramski prikaz normalizacije rezultata

Normalizacijom rezultata dobiva se podatak koji govori koliki je iznos pojedinog utjecaja ekvivalent utjecaju koji jedan prosječni Europljanin ima tijekom jedne vremenske jedinice, tj. unutar godinu dana. Vrijednost normalizacije iskazuje se u mjernoj jedinici „*pt*“ (eng. *point*). Prosječni europski stanovnik tijekom godine ima utjecaj na okoliš u iznosu od 1000 pt, dok se sa histograma na slici 8.21 vidi da najveći normalizirani utjecaj predstavljaju Uzlazni procesi i to na kategoriju „*Marine aquatic ecotoxicity*“, odnosno na toksičnost mora i oceana u iznosu od 6e-8 pt. Ova brojka je zanemariva u odnosu na potrošnju i utjecaje jednog čovjeka.

Radi usporedbe s drugim sličnim analizama sličnih proizvoda potrebno je vrijednost ukupne količine materijala svesti na vrijednost funkcijske jedinice. Za to su potrebni podaci o dugotrajnosti životnog vijeka proizvoda, masi proizvoda, prosječnoj brzini kretanja vagona u koji se okretno postolje Y25 ugrađuje, te koliko se prosječno tereta preveze godišnje. Podaci o navedenim stavkama preuzeti su iz slične provedene studije i nalaze se u sljedećoj tablici.

Tablica 8.7. Podaci za izračun vrijednosti funkcijske jedinice [29]

Podatak	Iznos	Mjerna jedinica
Masa okvira	0,989	t
Prosječna brzina kretanja vagona*	23	km/h
Prosječan broj radnih sata vagona godišnje	1250	h/g
Vijek trajanja okvira	35	g

*Prema podacima iz [36]

Množenjem vrijednosti prikazanih u tablici 8.7 dobiva se vrijednost od 995181,25 tkm (kod izračuna ukupne vrijednosti tkm nije u obzir uzeta masa prevezenog tereta, i samog vagona). Ovaj podatak može poslužiti kao uvid koliko je resursa potrebno potrošiti da bi dobili jednu izračunatu funkcijsku jedinicu, i tu dobivenu vrijednost bilo bi moguće komparirati s vrijednostima dobivenim u drugim analizama za slične proizvode kada bi u svrši analize bilo navedeno da je ona ima komparativnu namjenu, što nije slučaj u ovoj studiji.

Tablica 8.8. Odnos količine materijala i iznosa funkcijske jedinice

Materijal	Količina	Količina materijala/tkm
Čelik	1609,48 kg	1,62E-03
Guma	0,2 kg	2,01E-07
Plastika	0,2 kg	2,01E-07
Drvo	0,015 m ³	1,51E-08
Žica za zavarivanje	62,8 kg	6,31E-05
Boja	22,06 kg	2,22E-05

Prethodna tablica prikazuje koliki je iznos pojedine grupa materijala u odnosu na izračunati iznos funkcijske jedinice. Konkretno brojčane vrijednosti pokazuju kako je najveća stavka transporta čelik, što je u skladu s njegovom korištenom masom za izradu okvira, tj. obzirom da je okvir gotovo 100% izrađen od čelika.

Tablica 8.9. Iznosi kategorija utjecaja i njihova korelacija s tonskim kilometrima

Kategorija utjecaja	Mjerna jedinica	Iznos	Iznos/tkm
Potencijal globalnog zatopljenja	kg CO ₂ equiv.	8,72E-10	8,76E-16
Potencijal uništavanja ozonskog omotača	kg CFC 11 equiv.	2,89E-12	2,90E-18
Potencijal acidifikacije	kg SO ₂ equiv.	7,88E-10	7,92E-16
Potencijal eutrofikacije	kg PO ₄ equiv.	8,76E-10	8,80E-16
Potencijal fotokemijskog stvaranja ozona	kg C ₂ H ₄ equiv.	2,28E-10	2,29E-16

Iz tablice se može vidjeti kako iznosi dobivenih rezultata nisu veliki, no treba uzeti u obzir da se oni konstantno multipliciraju u skladu s razvojem obujma proizvodnje. Vidi se kako je najveći iznos vezan uz Potencijal eutrofikacije, da ga slijedi Potencijal globalnog zatopljenja, a da je iznos Potencijala uništavanja ozonskog omotača čak dva reda manji u odnosu na ostale.

9. ZAKLJUČAK

Obzirom na diplomski zadatak kojim je navedeno da rad treba sadržavati detaljan opis analize životnog ciklusa, pojmova vezanih uz analizu i razvoj njene izvedbe rad je podijeljen u dva dijela. Poglavlja 1-6 mogu se svrstati u teorijski pregled koraka analize, već provedenih analiza i za njih korištene računalne alate, te uvod u *SimaPro* softver. Ova poglavlja i njihov sadržaj poslužili su u svrhu upoznavanja s ovim područjem interesa, te kao svojevrsna baza znanja za drugi, praktični dio rada. U drugom dijelu je na primjeru okretnog postolja, tj. okvira okretnog postolja to znanje usmjereno na provedbu što kvalitetnije LCA analize.

Nakon svega navedenog može se zaključiti kako je LCA analiza vrlo praktičan i relativno brz način procjene utjecaja pojedinih elemenata i materijala na okoliš. Najveći udio vremena oduzimaju faze prikupljanja podataka te njihovog strukturiranja i razumijevanja. Podaci dostupni za ovu analizu bili su ograničeni u velikoj mjeri zbog poslovnih tajni TŽV-a Gredelj, no bili su dovoljni za kvalitetnu studiju.

Fakultetska verzija *SimaPro* softvera pokazala se dostatna za provedbu analize u definiranom obujmu, no obzirom na ograničenost ove verzije kompleksnija analiza bila bi otežana. Također, za analizu je bilo moguće odabrati neku drugu od ponuđenih metoda za analizu, no CML-IA je također odgovarala opsegu dostupnih podataka.

Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da Uzlazni procesi, s prevladavanjem Ulaznih materijala u svim kategorijama utjecaja najviše utječu na okoliš i da se, kao što je navedeno, smanjivanjem ulaznih podataka za 10% postiže određeno poboljšanje, no ne u značajnijoj mjeri. Zaključak je da će u budućnosti biti nužno uvesti određene promjene u vidu korištenih materijala.

Utjecaj ostalih resursa i transporta uz ovoliku količinu ulaznih metalnih materijala ne čini količinski velik udio, stoga je logičan njihov slab utjecaj na okoliš u svim kategorijama utjecaja. Boja je drugi najveći faktor bez obzira što je količinski puno ne ulazi u sustav. Treba imati na umu da je životni vijek okvira 35 godina i da se pri održavanju ipak utroši nešto veća količina od one za početno bojanje. Obzirom na nerazmjerno dobiven rezultat utjecaja ulaznih materijala i ostalih komponenti može se zaključiti kako materijali apsolutno zahtijevaju skretanje pažnje.

Na kraju, normalizacijom je uspoređen utjecaj svega navedenoga s utjecajem jednog prosječnog Europljanina tijekom godinu dana. Rezultati pokazuju kako su ljudska potrošnja i

djelovanje te njihov utjecaj na okoliš faktor koji bi trebao izazvati puno veću brigu i pažnju nego proizvodnja i životni vijek jednog okvira okretnog postolja.

Za sada rezultati ove analize mogu imati samo internu svrhu za TŽV Gredeľ, no postoji mogućnost naknadnog poboljšanja analize unošenjem detaljnijih informacija u softver ili dodavanjem društvene komponente. Dodatna vrijednost za TŽV bi bila ishođenje EPD certifikata, što bi sigurno omogućilo ostvarenje dodatne konkurentske prednosti na tržištu s obzirom da konkurencija još uvijek ne posjeduje EPD certifikate.

10. LITERATURA

[1] Environmental Protection Agency. 1994. Life cycle assessment. Cincinnati, OH (Sjedinjene Američke Države).

[2] Qingxin, Fan; Hongguang; Ao; Chao, Meng. 2007. Life Cycle Assessment. The School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, Kina; Heilongjiang Scientific Research Institute of Environmental Protection, Harbin 150056, Kina.

[3] International EPD System. 2011. PRODUCT CATEGORY RULES; Pumps for liquids; liquid elevators and mixers.

[4] Illinois Sustainable Technology Center. 2009. ISTC Reports: Life Cycle Analysis: A Step by Step.

http://www.istc.illinois.edu/info/library_docs/tr/tr40.pdf (pristupljeno 2.2.2016.)

[5] Lehtinen, H. i dr.; 2011. A Review of LCA Methods and Tools and their Suitability for SMEs.

http://www.biochem-project.eu/download/toolbox/sustainability/01/120321%20BIOCHEM%20LCA_review.pdf

[6] Vrančić, Tanja. 2012. Emisije koje ugrožavaju našu budućnost.

<http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE64201206527-531Zastita-okolisa.pdf> (pristupljeno 9.2.2016.)

[7] Belošević, D. 2015. LCA analiza staklene boce. Završni rad br. 159/PS/2015. Sveučilište Sjever. Varaždin.

[8] LCANZ-Life Cycle Association New Zealand. 2015. Introduction to LCA.

<http://www.lcanz.org.nz/introduction-lca> (pristupljeni 10.2.2016.)

[9] Tosca sustainability framework, Defining the goal and scope of the LCA study. 2011.

<http://www.tosca-life.info/getting-started-guides/life-cycle-assessment/how-to-perform-an-lca/phases-in-an-lca-study/goal-and-scope/> (pristupljeno 2.2.2016.)

- [10] DANISH MINISTRY OF THE ENVIRONMENT. Environmental Protection Agency. 2004. The Product, Functional Unit and Referenc Flows in LCA.
- [11] Tosca sustainability framework, Performing the inventory in the LCA study. 2011.
<http://www.tosca-life.info/getting-started-guides/life-cycle-assessment/how-to-perform-an-lca/phases-in-an-lca-study/inventory/> (pristupljeno 2.2.2016.)
- [12] Tosca sustainability framework, Performing the environmental impact assessment in the LCA. 2011.
<http://www.tosca-life.info/getting-started-guides/life-cycle-assessment/how-to-perform-an-lca/phases-in-an-lca-study/impact-assessment/> (pristupljeno 2.2.2016.)
- [13] Tosca sustainability framework, Performing the interpretation in the LCA. 2011.
<http://www.tosca-life.info/getting-started-guides/life-cycle-assessment/how-to-perform-an-lca/phases-in-an-lca-study/interpretation/> (pristupljeno 2.2.2016.)
- [14] Tosca sustainability framework, Reporting and communicating LCA results. 2011.
<http://www.tosca-life.info/getting-started-guides/life-cycle-assessment/how-to-perform-an-lca/communicating-lca-results/> (pristupljeno 2.2.2016.)
- [15] The International EPD[®] system; 2016. Product Category Rules (PCR)
<http://www.environdec.com/PCR/> (pristupljeno 3.7.2016.)
- [16] The International EPD[®] system; 2016. PCR development.
<http://www.environdec.com/en/PCR/PCR-Development/> (pristupljeno 3.7.2016.)
- [17] PCR Library; Procedure for development and maintenance of PCR.
<http://pcr-library.edf.org.tw/procedure/index.asp> (pristupljeno 3.7.2016.)
- [18] PRé, various authors; 2016. SimaPro Database Manual, Methods Library.
<https://www.pre-sustainability.com/download/DatabaseManualMethods.pdf> (pristupljeno 3.7.2016.)
- [19] Goedkoop, M. i dr.; 2016. Introduction to LCA with SimaPro.
- [20] ORIZO; Ekološke oznake i deklaracije.

- [21] The International EPD[®] system; 2016. Five steps to create an EPD[®]
<http://www.environdec.com/en/Creating-EPD/Five-steps-to-EPD/> (pristupljeno 3.7.2016.)
- [22] Stripple, H.; Uppenberg, S.; 2010. Key methodological aspects for the assessment of surface freight transport activities in a LCA analysis.
- [23] Blanc, I. i dr.; 2009. Integrating life cycle costs and environmental impacts of composite rail car-bodies for a Korean train.
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11367-009-0096-2> (pristupljeno 3.7.2016.)
- [24] Nordlund, S. i dr.; 1997. Life cycle environmental impact assessment: two high speed trains compared.
<https://trid.trb.org/view.aspx?id=635074> (pristupljeno 4.7.2016.)
- [25] SimaPro LCA Software. Earth Shift, Building pathways to sustainability. 2016.
<http://www.earthshift.com/software/simapro> (pristupljeno 2.2.2016.)
- [26] Struna, Hrvatsko strukovno nazivlje. Okretno postolje.
<http://struna.ihjj.hr/naziv/okretno-postolje/20774/> (pristupljeno 3.7.2016.)
- [27] TŽV Gredelj. Okretno postolje Y25.
<http://www.tzv-gredelj.hr/component/attachments/download/68> (pristupljeno 3.7.2016.)
- [28] Agencija za zaštitu okoliša; 2015. Okoliš na dlanu.
file:///C:/Users/zimak/Downloads/Okolis%20na%20dlanu_2009..pdf (pristupljeno 3.7.2016.)
- [29] The International EPD[®] system; 2016. Self-propelled bulk carriage.
<http://environdec.com/en/Detail/epd900> (pristupljeno 3.7.2016.)
- [30] PRé; What is the difference between ecoinvent market and transformation processes?.
<https://www.pre-sustainability.com/faq/what-is-the-difference-between-ecoinvent-market-and-transformation-processe> (pristupljeno 3.7.2016.)
- [31] The International EPD[®] system; 2009. EPD-Product group: UN:CPC 495, ROLLING STOCK, Version 2.11.

[32] Climate Change Connection; 2016. CO₂ equivalents.

<http://climatechangeconnection.org/emissions/co2-equivalents/> (pristupljeno 3.7.2016.)

[33] Depletion of the stratospheric ozone layer.

<http://www.ziegel.at/gbc-ziegelhandbuch/eng/umwelt/wirkkatodp.htm> (pristupljeno 3.7.2016.)

[34] Glossary of statistical terms; 2005. Acidifying Potential (AP).

<https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=6346>

[35] konačni prijedlog zakona o potvrđivanju protokola o nadzoru emisija hlapivih organskih spojeva ili njihovih prekograničnih strujanja uz konvenciju o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka iz 1979. godine.

file:///C:/Users/zimak/Downloads/II_DIO.pdf (pristupljeno 3.7.2016.)

[36] Željeznice 21, Stručni časopis Hrvatskog društva željezničkih inženjera; 2/2014.

11. PRILOZI

Prilog 1: Podaci na CD-u